فصل دوم -

ترمودینامیک (Thermodynamics): علمی است که روابط بین کار و گرما را بررسی می‌کند.

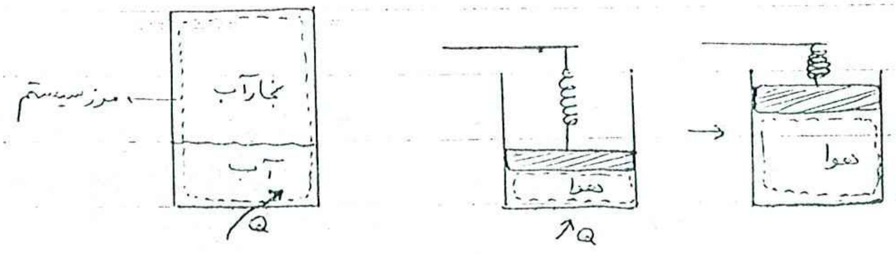
(1)

ترمودینامیک:
۱) آماری: محیط را ناپیوسته در نظر می‌گیرد و اثر تک‌تک ذرات را مورد بررسی قرار می‌دهد.
۲) کلاسیک: محیط را پیوسته در نظر می‌گیرد و اثر مجموعه ذرات را مورد بررسی قرار می‌دهد.

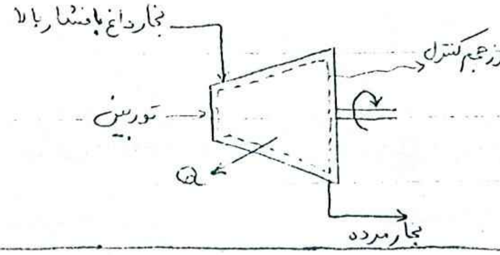
سیستم: فضای بسته‌ای است که توجه خود را جهت بررسی آن معطوف می‌دارد. این فضا می‌تواند تبادل کار و گرما داشته باشد (تبادل جرم ندارد).

حجم کنترل: فضایی که می‌تواند تبادل کار، گرما و جرم داشته باشد.

مثال سیستم:

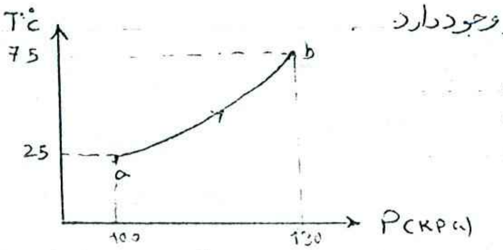



مثال حجم کنترل:
کمپرسور یا دیگ بخار یا مبدل حرارتی یا توربین




فاز (phase): ماده به سه فاز جامد، مایع و گاز وجود دارد.

نمودار دما برحسب فشار سیالی را در نظر می‌گیریم.




- برای رسیدن از وضعیت ابتدایی a به وضعیت نهایی b سیال بی‌نهایت نقطه را طی می‌کند. به هر یک از این نقاط یک حالت (Condition) می‌گویند.

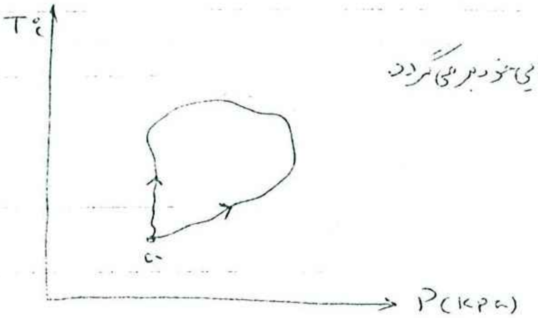
- هر نقطه دارای مشخصات ترمودینامیکی است.

- مجموعه نقاطی که سیستم در مشخصات ترمودینامیکی طی می‌کند مسیری را بوجود می‌آورد که به آن مسیر ترمودینامیکی گویند.

فرآیند: زمانی که یک سیستم از یک حالت خارج و به حالت ثانویه‌ای می‌رسد گوییم فرآیند رخ داده است.

سیکل: اگر سیستم از حالت ابتدایی خارج و پس از طی حالتهای زیادی مجدداً برگردد یک سیکل را طی نموده است.

تعریف دیگر: فرآیندی که طی آن سیستم به حالت ابتدایی خود برمی‌گردد.




حجم مخصوص: میزان حجم واحد جرم جسم را گویند. $v = \frac{dV}{dm} \rightarrow \frac{m^3}{kg}$

اگر سیستم یکنواخت باشد: $v = \frac{V}{m}$

چگالی (جرم مخصوص): میزان جرم موجود در واحد حجم جسم. $\rho = \frac{dm}{dV} \rightarrow \frac{kg}{m^3}$

اگر سیستم یکنواخت باشد: $\rho = \frac{m}{V}$

حجم مخصوص و چگالی عکس یکدیگرند. $\rho = \frac{1}{v}$

فشار (pressure): مقدار نیروی عمودی اعمال شده بر واحد سطح جسم $P = \frac{dF_n}{dA}$

اگر نیروی اعمال شده یکنواخت باشد: $P = \frac{F}{A} \rightarrow \frac{N}{m^2} = Pa$

---

حجم مخصوص ← specific volume ، چگالی ← density

---

واحدهای دیگر فشار: $1\,atm = 101.3\,kPa = 14.7\,psi = 760\,mmHg \cong 1\,bar$

پوند بر اینچ مربع

---

دما: کمیتی است جهت مقایسه میزان گرمای یا سردی و واحدهای اندازه‌گیری دما: سلسیوس، فارنهایت، رانکین، کلوین...)

$K = C + 273.15$ ، $\frac{F-32}{180} = \frac{C}{100} \rightarrow F = 1.8C + 32$

$R = 459.67 + F$

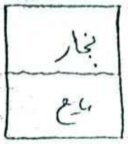
قانون صفرم ترمودینامیک:

اگر جسم A با جسم B و جسم B با جسم C هم‌دما باشد آنگاه جسم A با جسم C هم‌دما خواهد بود.

فصل سوم ①

## «خواص مواد خالص»

ماده خالص (pure substance): ماده‌ای که از نظر ترکیب شیمیایی همگن باشد.

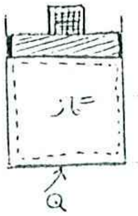



- هوا بصورت گاز یک ماده خالص است.
- هوا بصورت مایع، یک ماده خالص نیست.

ماده تراکم پذیر ساده (simple compressible substance): ماده خالصی که اثرات کشش سطحی، مغناطیسی و الکتریکی در مورد آن ناچیز باشد.

---

فرآیند فشار ثابت: فرآیندی که در طول تحول فشار تغییر نکند.



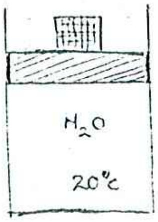

(فشار گاز) $P = P_{at} + \frac{W}{A_p}$ ← وزن وزنه‌ها و پیستون

$A_p$: سطح مقطع مورد فشار (سطح مقطع پیستون)

اگر پیستون آزادانه در سیلندر بلغزد فرآیند فشار ثابت است.

---

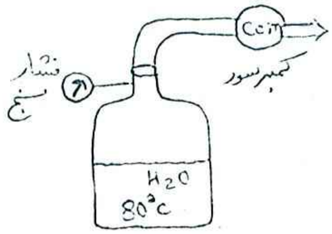
تعادل فاز مایع - بخار:




| P(kPa) | T°c |
|---|---|
| 100 | 99.62 |
| 150 | 111.37 |
| 250 | 127.43 |

به ازای هر فشار دمایی وجود دارد که در آن دما تبخیر شروع می‌شود.

---



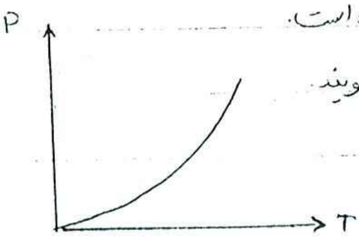

| P(kPa) | T°c |
|---|---|
| 47.39 | 80 |
| 12.35 | 50 |
| 1.2276 | 10 |

به ازای هر دما، فشاری وجود دارد که در آن تبخیر شروع می‌شود.

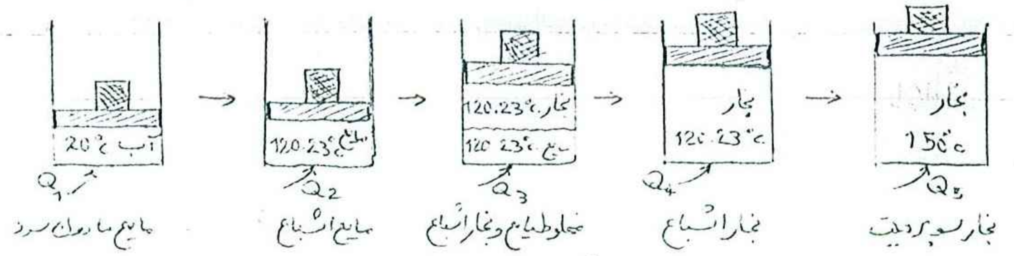
به زوج مرتب‌های بدست آمده از آزمایش‌ها دما و فشار اشباع متناظر به هم گویند و آن دما و فشار متناظر به هم، است که در آن تبخیر (اشباع) شروع می‌شود.

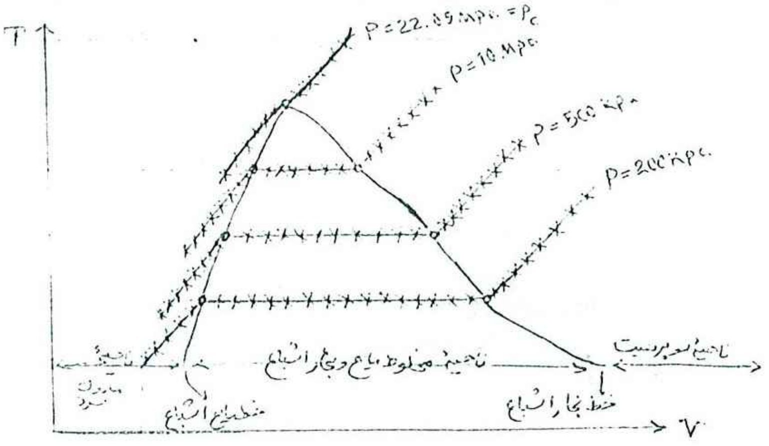
این اطلاعات در کتاب تحت عنوان جدول اشباع برای چند ماده آمده است.

اگر این زوج مرتب‌ها ترسیم شوند به منحنی حاصله «منحنی فشار بخار» گویند.



منحنی T-V : فرض می‌کنیم که آزمایش تحت فشار P=200 kPa (ثابت) انجام گیرد.




به نقطه منحنی نقطه بحرانی گویند.

همه مواد دارای چنین رفتاری می‌باشند و دارای یک نقطه بحرانی می‌باشند. جدول اطلاعات نقاط بحرانی در کتاب آمده است.

مایع مادون سرد (subcooled liquid): اگر دمای حاکم از دمای اشباع متناظر به فشار حاکم کمتر باشد، سیال مادون سرد است.

تعریف دیگر: اگر فشار حاکم از فشار اشباع متناظر به دمای حاکم بیشتر باشد مایع مادون سرد (ساب کولد) است.

نام دیگر سیال مادون سرد، مایع متراکم یا فشرده (compressed liquid) می باشد.

اگر به مایع ساب کولد گرما داده شود افزایش دما می دهد.

مثال: سیال آب تحت (200 KPa , 105°c) را تعیین وضعیت نمایید.

حل: از جدول اشباع در کتاب $T_{sat(200kPa)} = 120.23°c$

saturated (اشباع)

چون $T_{sys} < T_{sat}$ ← حاکم (سیستم)

بنابراین سیال مادون سرد است.

---

مایع اشباع (saturated liquid): اگر مایعی در دما و فشار اشباع متناظر به هم وجود داشته باشد مایع اشباع است.

- مایع اشباع با کوچکترین گرم شدن تبخیر می شود.

مثال: یک مخزن حاوی مایع و بخار آب 200°c است. مطلوبست فشار حاکم.

حل: چون در حالت مخلوط است حالت سیال اشباع است. از جدول اشباع آب:

$P_{sat(200°c)} = 1553.8\ kPa$

---

بخار اشباع (saturated vapor): اگر بخاری در دما و فشار اشباع متناظر به هم وجود داشته باشد بخار اشباع است.

- بخار اشباع با کوچکترین سرد شدن تقطیر می شود.

---

بخار سوپرهیت یا مافوق گرم (superheat vapor): اگر دمای حاکم بیشتر از دمای اشباع متناظر به فشار حاکم باشد سیال سوپرهیت است.

تعریف دیگر: اگر فشار حاکم کمتر از فشار اشباع متناظر به دمای حاکم باشد سیال سوپرهیت است.

- اگر بخار سوپرهیت سرد شود کاهش دما می دهد.

مثال: سیال آب تحت (250 KPa , 150°c) را تعیین وضعیت نمایید.

حل: از جدول اشباع آب: $T_{sat(250kPa)} = 127.43°c$

چون $T_{sys} > T_{sat}$ بنابراین سیال سوپرهیت است.

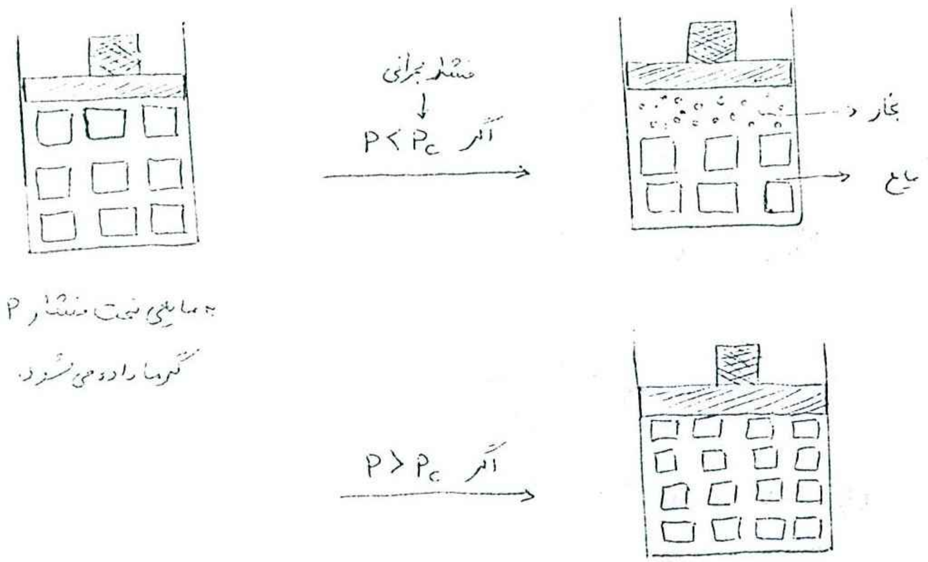
از بیان دیگر (حل دیگر): از جدول اشباع آب:

$$P_{sat}(150^\circ C) = 475.9\,kPa$$

چون $P_{sys} < P_{sat}$ بنابراین سیال سوپرهیت است.

---

نقطهٔ بحرانی (Critical point): نقطه‌ای است که از این نقطه به بالا در دیاگرام، تفکیک دو فاز مایع و بخار از هم میسر نیست.



1) مطلوبست دمای اشباع متناظر به فشار 1 MPa ؟ از جدول اشباع $T_{sat(1MPa)} = 179.91°c$

2) مطلوبست فشار اشباع متناظر به دمای 10°c ؟ $P_{sat(10°c)} = 1.2276\ kpa$

3) وضعیت آب تحت (150°c , 200 kpa) را مشخص کنید.

حل به بیان اوّل: از جدول اشباع $T_{sat(200kpa)} = 120.23°c$

چون $T_{sys} > T_{sat}$ سوپرهیت است.

حل به بیان دوّم: از جدول اشباع $P_{sat(150°c)} = 475.9\ kpa$

چون $P_{sys} < P_{sat}$ سوپرهیت است.

---

4) مطلوبست وضعیت R-22 تحت (-10°c , 200 kpa)

R-22: سیالی که برای تبرید در کولر بکار می رود (مبرد)

R-12: سیالی که برای تبرید در یخچال بکار می رود (مبرد) Refrigerant (مبرد)

از جدول اشباع $P_{sat(-10°c)} = 354.3\ kpa$

چون $P_{sys} < P_{sat}$ سوپرهیت است.

---

تعریف: در یک مخلوط بخار و مایع:

(quality) کیفیت ← $x = \dfrac{m_g}{m}$ (جرم بخار / جرم کل)

| |
|---|
| بخار |
| مایع |

$m_g = mx \qquad m_f = m - m_g = m - xm = (1-x)\,m$ (جرم مایع)

---

$V = V_g + V_m \quad , \quad v = \dfrac{V}{m} \quad , \quad v_f = \dfrac{V_f}{m_f} \quad , \quad v_g = \dfrac{V_g}{m_g}$

$m v = m_g v_g + m_f v_f$

$v = \dfrac{m_g}{m} v_g + \dfrac{m_f}{m} v_f$

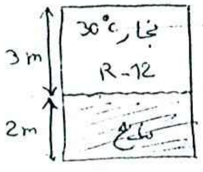
از دانسته‌های بالا داریم: $v = x v_g + (1-x) v_f$

$v$ ← حجم مخصوص متوسط کل ، $v_g$ ← حجم مخصوص بخار ، $v_f$ ← حجم مخصوص مایع

نکته ($v_f < v < v_g$) همواره

---

مسئله: (الف) مطلوبست کیفیت - جرم بخار - جرم مایع ، در شکل زیر:




$A = 1\ m^2$

حل: چون مخلوط است حالت اشباع است:

$T = 30°c \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} \begin{cases} P = 744.9\ kpa \\ v_f = 0.000774\ \frac{m^3}{kg} \\ v_g = 0.02351\ \frac{m^3}{kg} \end{cases}$

$P_{sys} = P_{sat} = 744.9\ kpa$ $m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{3}{0.02351} = 127.6\ Kg$

$m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{2}{0.000774} = 2584\ kg$ $x = \frac{m_g}{m_g + m_f} = 0.047$

حجم مخصوص متوسط کل و جرم کل را بدست آورید.

حل: $v = x v_g + (1-x) v_f$ $v = (0.047)(0.02351) + (1-0.047)(0.000774)$

$v = 0.00184$

$m = \frac{V}{v} = \frac{5}{0.00184} = 2717.4\ kg$ ($v$ همواره بین $v_f$ و $v_g$ قرار دارد)

---

مسئله: مطلوبست $v$ آب در دمای $200\ ^\circ C$ و فشار $200\ kpa$.

حل: ابتدا تعیین وضعیت می‌نماییم. $T_{sat\,(200\,kpa)} = 120.23\ ^\circ C$

چون $T_{sys} > T_{sat}$ سوپرهیت است و به جدول سوپرهیت مراجعه می‌کنیم.

$v = 1.08034$

---

مسئله: مطلوبست حجم مخصوص آب در ($20\ Mpa$ و $300\ ^\circ C$).

حل: ابتدا تعیین وضعیت می‌نماییم. $P_{sat\,(300\,^\circ C)} = 8581\ kpa = 8.581\ Mpa$

چون $P_{sys} > P_{sat}$ حالت مایع مادون سرد است و به جدول مایع مادون سرد مراجعه می‌کنیم.

$v = 0.001360$

---

نکتهٔ امتحانی: برای جواب‌هایی که در جدول کتاب نیست (بدست می‌آوریم) تا دو رقم اعشار حساب کنیم.

---

مسئله: مطلوبست فشار آب در ($0.1\ \frac{m^3}{kg}$ و $200\ ^\circ C$)

ابتدا تعیین وضعیت می‌نماییم: از جدول اشباع

$200\ ^\circ C \longrightarrow \begin{cases} v_f = 0.001156 \\ v_g = 0.12736 \end{cases}$

$v_{sys} = 0.1\ \frac{m^3}{kg}$

نکته:

$\begin{cases} \text{If} & v < v_f \Rightarrow \text{مایع مادون سرد} \\ \text{If} & v_f < v < v_g \Rightarrow \text{حالت اشباع} \\ \text{If} & v > v_g \Rightarrow \text{حالت سوپرهیت} \end{cases}$

در نتیجه $v_f < v_{sys} < v_g$ حالت اشباع است.

بنابراین:

$P_{sys} = P_{sat} = 1553.8 \text{ kPa}$

---

مسئله: مطلوبست دمای آب تحت $(10000 \text{ kPa}, 0.02641 \frac{m^3}{kg})$.

حل: ابتدا تعیین وضعیت می‌نماییم جدول اشباع ←

$$10000 \text{ kPa} \longrightarrow \begin{cases} v_f = 0.001452 \\ v_g = 0.01803 \end{cases}$$

چون $v_{sys} > v_g$ سوپرهیت است، و به جدول سوپرهیت مراجعه می‌کنیم. $T = 400°C$

---

مسئله: مطلوبست فشار آب تحت $(200°C, 0.00139 \frac{m^3}{kg})$.

حل: ابتدا تعیین وضعیت می‌نماییم. از جدول اشباع

$$200°C \longrightarrow \begin{cases} v_f = 0.001156 \\ v_g = 0.12736 \end{cases}$$

چون $v_{sys} < v_f$ مایع متراکم است و به جدول مایع سرد مراجعه می‌کنیم. $P_{sys} = 20000 \text{ kPa}$

---

مسئله: مطلوبست فشار اشباع متناظر به دمای $152.5°C$.

حال از جدول اشباع:

$T_1 = 150°C \qquad P_1 = 475.9 \text{ kPa}$

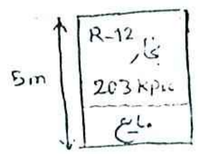
$T_2 = 155°C \qquad P_2 = 543.1 \text{ kPa}$

$$\frac{T - T_1}{P - P_1} = \frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1} \qquad \frac{152.5 - 150}{P - 475.9} = \frac{155 - 150}{543.1 - 475.9}$$

$$\boxed{P = 509.5 \text{ kPa}}$$

---

مسئله: در شکل زیر مطلوبست جرم کل موجود در مخزن در صورتیکه کیفیت ۱۰٪ باشد.




$A = 2m^2$

| | $P$ (kPa) | $v_f$ $(\frac{m^3}{kg})$ | $v_g$ $(\frac{m^3}{kg})$ |
|---|---|---|---|
| ① | 182.6 | 0.000693 | 0.09102 |
| ② | 219.1 | 0.000700 | 0.07665 |

$$\frac{v_f - v_{f1}}{P - P_1} = \frac{v_{f2} - v_{f1}}{P_2 - P_1} \qquad \boxed{P = 203 \text{ kPa}} \qquad v_f = 0.000697$$

$$\frac{v_g - v_{g1}}{P - P_1} = \frac{v_{g2} - v_{g1}}{P_2 - P_1} \qquad v_g = 0.08298$$

$$m = \frac{V}{v} \qquad v = x v_g + (1 - x) v_f = (0.1)(0.08298) + (1 - 0.1)(0.000697)$$

$v = 0.00892 \ \frac{m^3}{kg}$ $\qquad m = \frac{10}{0.00892} = 1121.07 \ kg$

---

تمارین : 3-23 , 3-24 , 3-26 , 3-27 , 3-28 , 3-29 , 3-30 , 3-31

---

مثال: مطلوبست v آب تحت (210°c، 220kpa).

حل: ابتدا تعیین وضعیت می‌خواهیم. از جدول اشباع آب: $P_{sat(210°c)} = 1906.3$ kpa

$P_{sys} < P_{sat}$ ← سوپرهیت است.

به جدول سوپرهیت (آب مافوق گرم) مراجعه می‌کنیم:

| | 200 kpa (v) | 300 kpa (v) |
|---|---|---|
| 200°c | 1.08034 | 0.71629 |
| 250°c | 1.19880 | 0.79636 |

**200 kpa**

$T_1 = 200°c \quad v_1 = 1.08034 \ \frac{m^3}{kg}$

$T_2 = 250°c \quad v_2 = 1.19880 \ \frac{m^3}{kg}$

$T = 210°c \rightarrow v = ?$

$$\frac{T - T_1}{v - v_1} = \frac{T_2 - T_1}{v_2 - v_1}$$

$v = 1.10403 \ \frac{m^3}{kg}$

**300 kpa**

$T_1 = 200°c \quad v_1 = 0.71629$

$T_2 = 250°c \quad v_2 = 0.79636$

$T = 210°c \rightarrow v = ?$

$$\frac{T - T_1}{v - v_1} = \frac{T_2 - T_1}{v_2 - v_1}$$

$v = 0.73230$

**210°c**

$P_1 = 200 \text{ kpa} \quad v_1 = 1.10403$

$P_2 = 300 \text{ kpa} \quad v_2 = 0.73230$

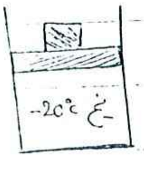
$P = 220 \text{ kpa} \rightarrow v = ?$

$$\frac{v - v_1}{P - P_1} = \frac{v_2 - v_1}{P_2 - P_1}$$

$v = 1.02968 \ \frac{m^3}{kg}$

---

نقطهٔ سه گانه (triple point):

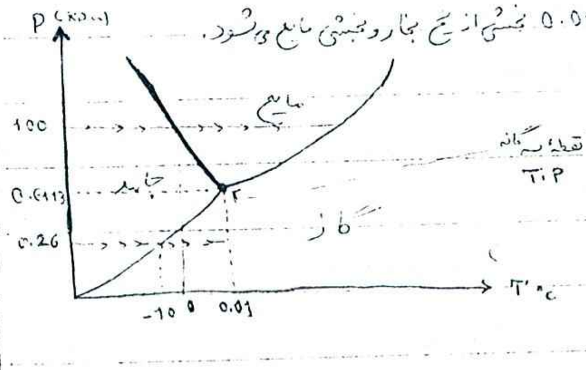



یخ 20°c- ← (گرم می‌شود، 0.26 kpa) در 10°c- تصعید می‌شود.

یخ 20°c- ← (گرم می‌شود، 100 kpa) در 0°c ذوب می‌شود.

می‌توان انتظار داشت که در فشاری خاص این تغییرها هم‌زمان صورت بگیرد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد

یخ 20°c- ← (گرم می‌شود، 0.6113 kpa) در 0.01°c بخشی از یخ بخار و بخشی مایع می‌شود.



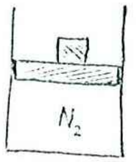
کلیهٔ مواد دارای چنین رفتاری هستند و یک نقطهٔ سه‌گانه دارند.

نقطهٔ سه‌گانه: نقطه‌ای است که سه فاز جامد، مایع و گاز همزمان وجود دارند.

جدول اطلاعات نقطهٔ سه‌گانهٔ برخی مواد در کتاب ص 59 آمده است.

---

## گاز کامل (perfect gas):



در یک آزمایش: $n_1$ مول گاز نیتروژن ($N_2$) را در دمای $T_1$ تحت فشار $P_1$ قرار می‌دهیم حجم $V_1$ را اشغال خواهد کرد

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1}=C_1$$

در آزمایش دیگر: $n_2$ مول گاز $O_2$ را تحت دمای $T_2$ و تحت فشار $P_2$ قرار می‌دهیم حجم $V_2$ را اشغال می‌کند

$$\frac{P_2V_2}{n_2T_2}=C_2$$

اگر این آزمایش‌ها را چندین بار انجام دهیم:

$$\frac{P_3V_3}{n_3T_3}=C_3 \cdots \frac{P_mV_m}{n_mT_m}=C_m$$

نشان می‌دهند که: $C_1=C_2=C_3=\cdots=C_m$

این عدد ثابت را ثابت عمومی (جهانی) گازها گویند $\bar{R}=8.31434 \frac{kJ}{kmol\cdot K}$

و به طور کلی می‌توان نوشت:

$$PV=n\bar{R}T$$

این عبارت را رابطهٔ گاز کامل گویند و هر گازی که از این رابطه تبعیت کند گاز کامل نامیده می‌شود. صورت‌های دیگری از رابطهٔ فوق در متون علمی دیده می‌شود:

الف) $PV=(nM)\left(\frac{\bar{R}}{M}\right)T$ ، ثابت گاز $R=\frac{\bar{R}}{M}$ ← جرم مولی از گاز

$PV=mRT$ که برای هر گاز مقدار مشخصی است.

ب) $P\frac{V}{n}=\bar{R}T$ ، حجم مولی $\bar{v}=\frac{V}{n}$ ← حجم یک مول

$P\bar{v}=\bar{R}T$

ج) $P\frac{V}{m}=RT$ ، $Pv=RT$

نکته: در فشارهای خیلی بالا و دماهای خیلی پایین رفتار گازها از معادلهٔ گاز کامل منحرف می‌شود.

برای اصلاح معادله یک ضریب تصحیح بکار گرفته می‌شود. $Pv=ZRT$

ضریب تصحیح ($Z$) را ضریب تراکم‌پذیری گویند (compressibility facter)

$Z$ برای نیتروژن در کتاب ترسیم شده است.

اگر سیستم حاوی گاز کامل از نقطهٔ ① به نقطهٔ ② برود. ① : $P_1V_1=m_1RT_1$

② : $P_2V_2 = m_2RT_2$

از تقسیم دو رابطه داریم : $\frac{P_1V_1}{P_2V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \boxed{\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}}$

★ دما الزاماً باید برحسب کلوین باشد.

تمارین 3-12 و 3-15

---

جواب (3-9)

① $\begin{array}{l} 1\,Mpa \\ 400\,^\circ K \end{array}$ $\xrightarrow{\text{شیر باز می‌شود}}$ ② $\begin{array}{l} 5\,Mpa \\ 450\,^\circ K \end{array}$ $\xrightarrow[\text{مخزن سرد می‌شود}]{\text{شیر بسته می‌شود}}$ ③ $\begin{array}{l} 300\,^\circ K \\ P_3 = ? \end{array}$

? = مقدار جرم ورودی

$P_1V_1 = m_1RT_1 \qquad m_1 = \frac{1000 \times 1}{0.287 \times 400} = 8.71\ kg$

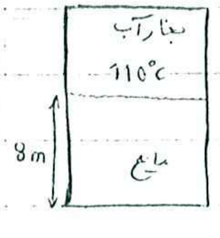
$P_2V_2 = m_2RT_2 \qquad m_2 = \frac{5000 \times 1}{0.287 \times 450} = 38.71\ kg$

جرم ورودی $= m_2 - m_1 = 30\ kg$

$P_3V_3 = m_3RT_3 \Rightarrow m_3 = m_2 \Rightarrow P_3 = \frac{38.71 \times 0.287 \times 300}{1} = 3332.9$ Kpa

توضیح : برای فرآیند 2 ← 1 رابطهٔ $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ نادرست است زیرا تغییر جرم داریم و سیستم نیست. ولی برای فرآیند 3 ← 2 $\frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3}$ درست است.

مسئله 3-30




$$P = \rho_f \cdot g \cdot h + P_v = \frac{g h}{v_f} + P_{sat}$$

$P_{sat} = 143.3\ kPa$ $\quad v_f = 0.001052\ \frac{m^3}{kg}$

$$P = \frac{g \times 8}{1000 \times 0.001052} + 143.3 = 218\ kPa$$

---

دبی جریان:

در یک فاصله زمانی $dt$ یک بخش سیال به طول $dx$ از آن بیرون می‌آید.

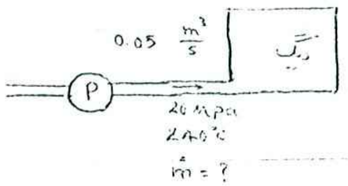
دبی حجمی ← $\dot{V} = \frac{dv}{dt} = \frac{A\,dx}{dt} = AV \rightarrow \frac{m^3}{s}$

($A$: سطح مقطع، $V$: سرعت)

دبی جرمی $\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{\rho\, dv}{dt} = \rho \dot{V} = \rho A V \rightarrow \frac{kg}{s}$

---

مسئله 3-43،




الف - با استفاده از جدول مادون سرد

$$P_{sat(240°C)} = 3344.2\ kPa = 3.3442\ MPa$$

سیال مادون سرد است به جدول مادون سرد مراجعه می‌کنیم

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

$$\dot{m} = \frac{0.05}{0.001205} = 41.493\ \frac{kg}{s}$$

ب - اگر خواص سیال مادون سرد را بوسیلهٔ مایع اشباع هم‌فشار تقریب بزنیم.

$v = v_{f(20\,MPa)} = 0.002035 \qquad \dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{0.05}{0.002035} = 24.57\ \frac{kg}{s}$

$$\text{خطای نسبی} = \frac{41.493 - 24.57}{41.493} \times 100\% = 40.8\%$$

ج - اگر خواص سیال مادون سرد را بوسیلهٔ مایع اشباع هم‌دما تقریب بزنیم

$v = v_{f(240°C)} = 0.001229 \qquad \dot{m} = \frac{0.05}{0.001229} = 40.653\ \frac{kg}{s}$

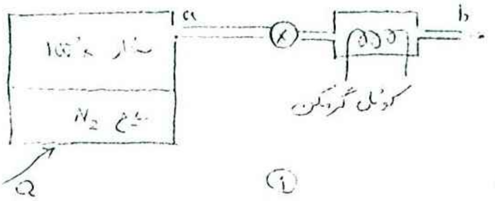
$$\text{خطای نسبی} = \frac{41.493 - 40.683}{41.493} \times 100\% = 1.95\%$$

نتیجه (**): در مواردی که نیاز به خواص مایع مادون سرد می‌باشد و جدول آن در دسترس نیست، می‌توان با تقریب خوبی خواص مایع اشباع هم‌دما را به کار گرفت.

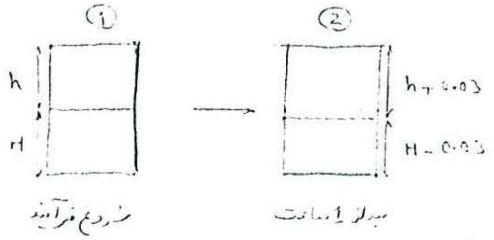
مسئلهٔ 3.50 - در مدت یکساعت سطح مایع 30 mm پایین می آید. $A = 0.5\ m^2$

بخار خروجی از گرمکن: 500 kPa ، 200°K $\rightarrow \dot{V} = ?$

چون دبی جرمی در خروج از مخزن در نقطهٔ a برابر نقطهٔ b می باشد دبی حجمی برابر نیست. بنابراین ابتدا دبی جرمی در نقطهٔ a را بدست می آوریم.




ابتدا مقدار جرم سیال خروجی از مخزن را محاسبه می کنیم:




$$m_1 = \frac{V_{f1}}{v_f} + \frac{V_{g1}}{v_g}\ ,\ m_2 = \frac{V_{f2}}{v_f} + \frac{V_{g2}}{v_g}\ ,\ \Delta m = m_1 - m_2$$

$$\Delta m = \frac{V_{f1} - V_{f2}}{v_f} + \frac{V_{g1} - V_{g2}}{v_g} = \frac{[AH - A(H-0.03)]}{v_f} + \frac{[Ah - A(h+0.03)]}{v_g}$$

$$\Delta m = \frac{0.03A}{v_f} + \frac{-0.03A}{v_g} \Rightarrow$$ از جدول اشباع $\xrightarrow{100°K}$ $\begin{cases} v_f = 0.001452 \\ v_g = 0.03120 \end{cases}$

جرمی از مایع که در 1 ساعت کم می شود

منفی جرمی از بخار که در 1 ساعت اضافه شده.

$$\Delta m = \frac{0.03 \times 0.5}{0.001452} - \frac{0.03 \times 0.5}{0.03120} = 9.85\ kg$$

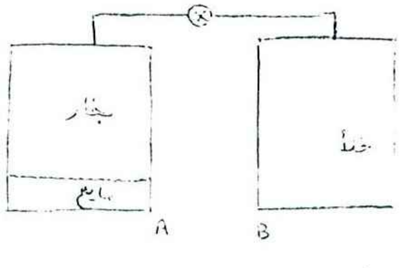
دبی جرمی $\dot{m}_a = \frac{dm}{dt} = \frac{9.85}{3600} = 0.0027\ \frac{kg}{s}$ $\qquad \dot{m}_b = \dot{m}_a$

$$\dot{m}_b = \rho_b \dot{V}_b = \frac{\dot{V}_b}{v_b}$$ از جدول سوپرهیت $\begin{cases} P = 500\ kPa \\ T = 200°K \end{cases} \rightarrow v_b = 0.15385\ \frac{m^3}{kg}$

$$\dot{V}_b = \dot{m}_b v_b = (0.0027)(0.15385) = 0.000415\ \frac{m^3}{s} = 0.415\ \frac{lit}{s}$$

---

مسئلهٔ 3.60 . مخزن A حاوی R-12 در 25°C و 10% حجم مایع است




$V_A = V_B = 200\ lit$

- درجه حرارت در طول فرآیند ثابت و 25°C است.

نکته: روش تبدیل درصد حجمی به جرمی.

②

$$1\,m^3 \begin{cases} V_f = 0.1\ m^3 \Rightarrow m_f = \dfrac{V_f}{v_f} = \dfrac{0.1}{0.000763} = 131.06\,kg \\ V_g = 0.9\ m^3 \Rightarrow m_g = \dfrac{V_g}{v_g} = \dfrac{0.9}{0.02685} = 33.5\,kg \end{cases}$$

کیفیت $x = \%$ $= 20.3\% = \dfrac{m_g}{m_g + m_f} \times 100\%$ = درصد جرمی بخار

از جدول اشباع R-12
$$\begin{cases} v_f = 0.000763 \\ v_g = 0.02685 \end{cases}$$

---

چون مسئله عنوان نموده تغییر کیفیت را بدست آورید حالت های تحول A اشباع است.

$$v_2 = x_2 v_g + (1 - x_2) v_f \qquad v_2 = \frac{V_2}{m_2}, \quad m_2 = m_1$$

$$v_1 = x_1 v_g + (1 - x_1) v_f = 0.006 \qquad \left(m_1 = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.2}{0.006} = 33.33\,kg = m_2\right)$$

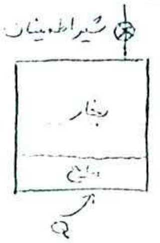
$$v_2 = \frac{V_2}{m_2} = \frac{0.4}{33.33} = 0.012\ \frac{m^3}{kg} \qquad x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f}$$

$$x_2 = \frac{0.012 - 0.000763}{0.02685 - 0.000763} = 0.43$$

---

مسئله 3-37

$$① \begin{cases} V = 1\,m^3 \\ m = 2\,kg \\ T = 100\,^\circ c \end{cases}$$




② لحظه باز شدن شیر: $T = 200\,^\circ c$, $v_2 = v_1$

$$v_1 = \frac{V_1}{m_1} = \frac{1000}{2}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m_1} = \frac{1}{2} = 0.5\ \frac{m^3}{kg} \qquad v_g = 1.67290$$

$$② \left| \begin{array}{l} T = 200\,^\circ c \\ v_2 = 0.5\ \frac{m^3}{kg} \end{array} \right. \longrightarrow$$

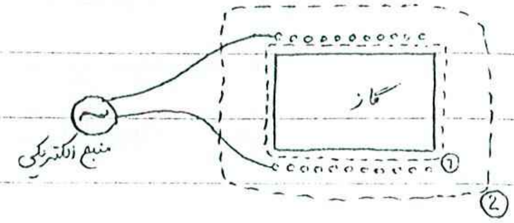
---

مسائل برگزیده: 3-11 ، 3-13 ، 3-17 ، 3-39 ، 3-45 ، 3-48 ، 3-58.

## فصل چهارم: «کار و گرما»

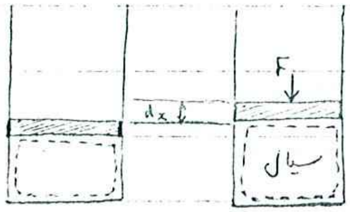
انتقال انرژی:
- اگر بدلیل اختلاف دما روی مرز سیستم باشد گرما نامیده می‌شود.
- اگر بدلیل اختلاف دما روی مرز سیستم نباشد کار نامیده می‌شود.

مثال:




- در سیستم ① انتقال انرژی از نوع گرما است.
- در سیستم ② انتقال انرژی از نوع کار است (زیرا در مرز سیستم انرژی الکتریکی منتقل می‌شود).

کار مرزی متحرک:




$$W=\int f\,d_x=\int (PA_p)\,d_x$$

$$A_p d_x = dV$$

$$W=\int P\,dV$$

توان: سرعت انجام کار.

$$\dot{W}=\frac{dw}{d_t} \qquad d_t\to 0$$

واحد توان $\frac{J}{s}$ می‌باشد که W (وات) نامیده می‌شود.

واحد گرما:

کالری: مقدار انرژی ای که 1 گرم آب $14.5^\circ c$ را به $15.5^\circ c$ برساند.

Btu: مقدار انرژی ای که دمای 1 پوند آب $59.5^\circ F$ را به $60.5^\circ F$ برساند، $60^\circ F$ Btu گویند.

- اگر در فرآیندی تبادل گرمایی وجود نداشته باشد به آن آدیاباتیک (بی در رو) گویند.

مثال 1-4) الف-

$$W=\int_{V_1}^{V_2} P\,dv = P\int_{V_1}^{V_2} dv = P(V_2-V_1) = 200(0.1-0.04)=12\,kJ$$

ب) به سیستم گرما داده، وزنه‌ها را به گونه‌ای از پیستون برمی‌داریم که دما ثابت بماند تا زمانی که حجم به $0.1\,m^3$ برسد. (فشار متغیر و بعنوان تابعی از حجم)

$$W=\int_{V_1}^{V_2} P(V)\,dV$$

برای ابتدای فرآیند $P_1V_1=mRT_1$ ⓘ و برای انتهای فرآیند $P_2V_2=mRT_2$

برای هر نقطه از فرآیند $PV=mRT$ ⓘⓘ $\xrightarrow{T\ \text{ثابت}}$ $\frac{II}{I}\Rightarrow PV=P_1V_1$

$$P_{(V)}=\frac{P_1V_1}{V} \qquad W=\int_{V_1}^{V_2}\frac{P_1V_1}{V}dv = P_1V_1\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V} = P_1V_1 \ln\Big|_{V_1}^{V_2}$$

$$W=(200)(0.04)\ln\frac{0.1}{0.04}=7.33\,kJ$$

ج) به سیستم گرما می‌دهیم تا حجم به $0.1\,m^3$ افزایش پیدا کند و وزنه‌ها را برمی‌داریم که رابطهٔ $P.V^{1.3}=c$ برقرار باشد.

$P_1V_1^{1.3}=C$

رابطه برای همهٔ نقاط از جمله نقطهٔ ابتدایی صادق است.

$(200)(0.04)^{1.3}=3.046=c$  $P_{(v)}=CV^{-1.3}=3.046\,V^{-1.3}$

$$W=\int_{V_1}^{V_2}P(v)\,dv=\int_{0.04}^{0.1}(3.046)V^{-1.3}\,dV=\frac{3.046\,V^{-0.3}}{-0.3}\Bigg|_{0.04}^{0.1}$$

د) پیستون را با یک پین ثابت کرده از آن گرما می‌گیریم تا فشار آن به 100 kPa برسد.

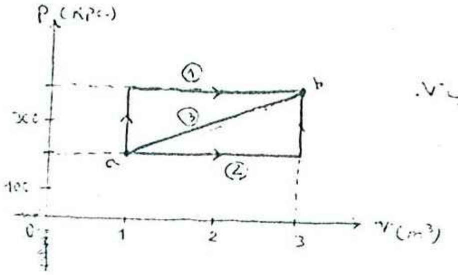
در این حالت چون حجم ثابت است، کاری انجام نمی‌شود ($W=0$)

---

قرار داد: اگر روی سیستم کار انجام شود، کار منفی در نظر گرفته می‌شود و بالعکس.

اگر به سیستم گرما داده شود، گرما مثبت در نظر گرفته می‌شود و بالعکس.

کار و گرما تابع مسیر هستند.




کار $W=\int p\,dv$ ← یعنی سطح زیر منحنی P بر حسب V.

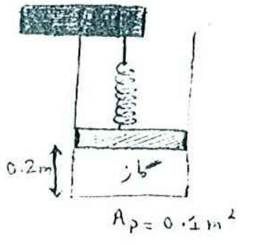
کار فرآیند ①  $W_1=2\times400=800$ kJ

کار فرآیند ②  $W_2=2\times200=400$ kJ

کار فرآیند ③  $W_3=2\times\frac{200+400}{2}=600$ kJ

---

مسئله: در شکل فنر خلاص و بر پیستون مماس است، به سیلندر گرما داده، تا حجم آن دو برابر شود کار تبادلی را بدست آورید.




$P_{at}=100$ kPa  $m_p=10$ kg (جرم پیستون)

فنر $K=100\ kN/m$

حل: $W=\int_{V_1}^{V_2}P(v)\,dv$   $P=P_0+P_{sp}$

$P_0$: فشار داخل سیستم وقتی فنر خلاص است — $P_{sp}$: فشار فنر

$$P=P_0+\frac{F_{sp}}{A_p}=P_0+\frac{K\Delta x}{A_p}=P_0+\frac{K\Delta V/A_p}{A_p}$$

($\Delta x\cdot A_p=\Delta V$ تغییر حجم سیلندر)

$$P=P_0+\frac{k}{A_p^2}\Delta V=P_0+\frac{k}{A_p^2}(V-V_0)$$

$V_0$ ← حجم سیستم وقتی فنر خلاص است.

$P=P_0+C(V-V_0)$  $c=\frac{k}{A_p^2}$ ثابت (اگر فنر خطی باشد)

$$W=\int P(v)\,dv=\int\left(P_0+\frac{k}{A_p^2}(V-V_0)\right)dv$$

$$P_0=P_{at}+P_p=100+\frac{10\times9.81}{0.1\times1000}=100.981\ kPa$$

$P_p$: فشار ناشی از وزن پیستون

$$P(V) = 100.981 + \frac{100}{(0.1)^2}(V - 0.2) = -99.019 + 10^4 V$$

$$W = \int_{0.02}^{0.04} (-99.019 + 10^4 V)\,dV = \left(-99.019V + \frac{10^4}{2}V^2\right)\Bigg|_{0.02}^{0.04} = 4.02\ kJ$$

---

مسئله (تمارین پایان فصل) (4-13) فشار با حجم رابطه خطی دارد.   $P = A + BV$

① $\left|\begin{matrix} 150\ kPa \\ 1\ lit \end{matrix}\right.$   ② $\left|\begin{matrix} 800\ kPa \\ 1.5\ lit \end{matrix}\right.$   $W = \int_{V_1}^{V_2} P(V)\,dV$

رابطه $P = A + BV$ در همه نقاط مسیر از جمله ابتدا و انتهای مسیر صادق است.

با حل دستگاه دو معادله دو مجهول، A و B بدست می آید.

$$\begin{cases} 150 = A + B(0.001) & (I) \\ 800 = A + B(0.0015) & (II) \end{cases}$$

$650 = 0.0005B$   $B = 13 \times 10^5\ (III) \rightarrow (III)\ in\ (I):\ A = -1150$

$P_{(V)} = -1150 + (13 \times 10^5)V$   $W = \int_{0.001}^{0.0015} \left(-1150 + (13 \times 10^5 V)\right) dV$

$$W = \left(-1150V + \frac{13 \times 10^5}{2}V^2\right)\Bigg|_{0.001}^{0.0015} = 237.5\ J$$

---

تمرین (مسئله 4-7) با فرض اینکه مانع وجود نداشته باشد، حجم نهایی را بدست می آوریم.

الف - اگر حجم نهایی کمتر از 11L باشد مسئله درست حل شده است.

ب - اگر حجم نهایی بیشتر از 11L باشد فرض مسئله نادرست است و باید حجم نهایی را 11lit در نظر گرفت.

در حالت الف - فرآیند فشار ثابت ($P = 150\ kPa$)

در حالت ب - پیستون روی متوقف کننده ها قرار دارد و حجم نهایی سیستم 11 lit است.

حل: با فرض الف   از جدول $v_1 = ?$ $\left|\begin{matrix} -30°C \\ 150\ kPa \end{matrix}\right.$   $v_1 = 0.14872\ \frac{m^3}{kg}$

$m = \frac{V_1}{v_1}$   $m = \frac{0.01}{0.14872} = 0.067\ kg$

از جدول $v_2 = ?$ $\left|\begin{matrix} 15°C \\ 150\ kPa \end{matrix}\right.$   $v_2 = 0.180\ \frac{m^3}{kg}$

$V_2 = m v_2 = (0.067)(0.180) = 0.012\ m^3 = 12\ lit$

بنابراین پیستون روی متوقف کننده ها ثابت می شود.

② $\left|\begin{matrix} 11\ lit \\ 15°C \end{matrix}\right.$   $v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.011}{0.067} = 0.1641\ \frac{m^3}{kg}$ (نیاز به $v_2$ نیست).

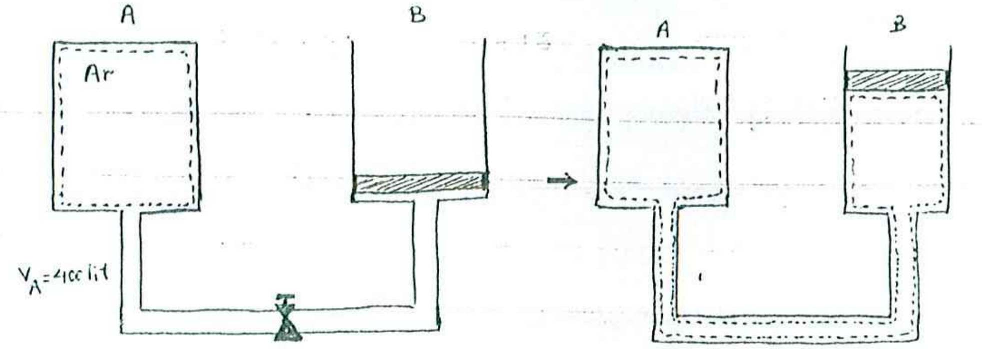
ب) چون پیستون تا رسیدن به مانع، فرآیند فشار ثابت است و بعد از آن نیز کاری انجام نمی شود:

$W = P\Delta V = 150(0.011 - 0.010) = 0.15\ kJ$

مسائل پایان فصل - 4-20 ، 4-24، 4-27، 4-23.

4.27

①




$A$ : ① | 250 kPa, 30°c → ② | 150 kPa, 30°c

با درنظر گرفتن Ar به عنوان گاز کامل:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{P_1}{P_2} V_1 = \frac{250}{150} \times 400 = 666.66 \text{ lit}$$

$W = P \Delta V$ چون فرآیند فشار ثابت است. ← کاری که توسط گاز روی جو و جرم پیستون صورت می‌گیرد $W = 150(666.66 - 400) = 39.999$ KJ

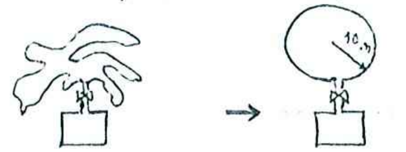
ب) اگر فشار جو 100kpa باشد چه مقدار کار روی جرم پیستون صورت گرفته است.

$W_{at} = P_{at} \Delta V$ (چون جو خیلی بزرگ است بنابراین تغییر حجم سیلندر در فشار جو تأثیری ندارد). $W_{at} = (-266.66)(100) = 26.666$ kJ ← کار انجام شده روی پیستون

$W_p = 39.999 - 26.666 = 13.333$ kJ برآیند کارهای انجام شده روی جرم پیستون

---

مسئله: سیلندر حاوی گاز، باز شده و بالن به شعاع 10m پر می‌شود مقدار تبادلی کار با جو را بیابید.




فرض ($P_{at} = 100$ kpa)

حجم جو به اندازه حجم بالن کم می‌شود.

روی مرزهای متحرک، فشار همیشه فشار جو است.

$$W = P_{at} \cdot \Delta V = P_{at}(-V_B) = \left(-\frac{4}{3}\pi (10)^3\right) \times 100000 = -4.19 \times 10^8 \text{ J}$$

---

(4.23

① | $m = 2$ kg, $P_1 = P_2 = 100$ kPa, $V_1 = 0.2\ m^3$

② | $V_2 = 0.8\ m^3$, $T_2 = 600$°c

$v_2 = \frac{0.8}{2} = 0.4 \frac{m^3}{kg} > v_g$ فوق گرم

$v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{0.2}{2} = 0.1 \frac{m^3}{kg}$ $v_f = 0.001043$ , $v_g = 1.69400$

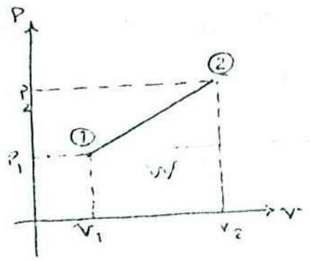
$v_f < v_1 < v_g$ حالت اشباع است. با میان‌یابی: $P_{2\,sat(v = 0.4 \frac{m^3}{kg})} = 1.003$ MPa

با استفاده از میان یابی داریم:

③ $P_3 = 1.2\ MPa$, $v_3 = v_2 = 0.4\ \frac{m^3}{kg}$ $\rightarrow T_3 = 769.688\ °C$

$W_{کل} = {}_1W_2 + {}_2W_3$

$W = {}_1W_2 = \int_{①}^{②} p\, dv$




چون فنر خطی است بنابراین نمودار P-V خطی می باشد. در نتیجه:

$$W = \left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)(V_2 - V_1) = \frac{0.1 + 1.003}{2}(0.3 - 0.2) = 0.331\ MJ$$

فصل 5.    «قانون اول ترمودینامیک»

بیان قانون اول: اگر سیستمی یک سیکل را طی کند انتگرال سیکلی کار متناسب با انتگرال سیکلی گرما خواهد بود:

$$\oint \delta W \propto \oint \delta Q$$

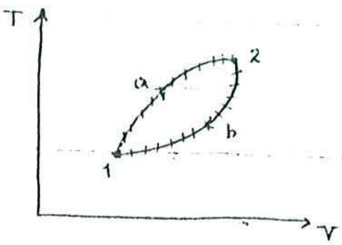
با بکارگیری یک ثابت، تناسب تبدیل به تساوی می‌شود.

$$\oint \delta W = J \oint \delta Q$$

در سیستم SI، مقدار J برابر 1 است.

$$J = 1 \rightarrow \oint \delta W = \oint \delta Q$$

برای یک فرآیند:




$$\oint \delta W = \oint \delta Q$$

$$\int_{1a}^{2a} \delta W + \int_{2b}^{1b} \delta W = \int_{1a}^{2a} \delta Q + \int_{2b}^{1b} \delta Q$$

$$-\int_{2b}^{1b} \delta Q + \int_{2b}^{1b} \delta W = \int_{1a}^{2a} \delta Q - \int_{1a}^{2a} \delta W$$

$$\Rightarrow \int_{1b}^{2b} \delta Q - \int_{1b}^{2b} \delta W = \int_{1a}^{2a} \delta Q - \int_{1a}^{2a} \delta W \Rightarrow \int_{1a}^{2a} (\delta Q - \delta W) = \int_{1b}^{2b} (\delta Q - \delta W)$$

عبارت زیر انتگرال از دو مسیر مختلف انتگرال گیری شده و مقداری مساوی بدست داده است، بنابراین تابع مسیر نمی‌باشد و می‌توان آنرا یک خاصیت در نظر گرفت.

این خاصیت را انرژی نامند و با E نمایش می‌دهند.

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + mgh + U$$

U ← انرژی داخلی: انرژی ارتعاشی ذرات ماده می‌باشد (انرژی شیمیایی را نیز در بر می‌گیرد).

تعریف: $u = \frac{U}{m}$ انرژی داخلی مخصوص

که مقدار آن در جداول ترمودینامیکی آمده است.

در مورد مخلوط $u = x u_g + (1-x) u_f$

بنابراین می‌توان نوشت: $\delta Q - \delta W = dE$ ... $\delta Q - \delta W = m v dv + mg dz + dU$

$$\int_1^2 (\delta Q - \delta W) = \int_1^2 [(m v dv) + (mg dz) + (dU)] \rightarrow \int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W$$

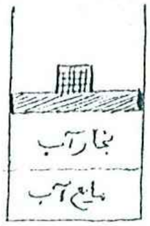
$$= \frac{1}{2} m v^2 \Big|_{v_1}^{v_2} + mg z \Big|_{z_1}^{z_2} + U \Big|_{U_1}^{U_2}$$

$$\Rightarrow {}_1Q_2 - {}_1W_2 = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) + mg (Z_2 - Z_1) + (U_2 - U_1)$$

قانون اول ترمودینامیک برای فرآیند در یک سیستم

${}_1Q_2$ کل گرمایی که در فرآیند تبادل می‌شود، ${}_1W_2$ کل کاری که در فرآیند تبادل می‌شود.

مسئله: در شکل زیر به سیلندر گرما داده تا سیال تماماً بخار اشباع شود. مطلوبست مقدار گرمای مورد نیاز:




$$\begin{cases} x = 80\% \\ T = 200^\circ C \\ m = 2\,kg \end{cases}$$

$$_1Q_2 + (-_1W_2) = (U_2 - U_1) + mg(Z_2 - Z_1) + \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$$

(معمولاً در ترمودینامیک چون مقدار آنها در عبارت ناچیز است از آنها صرف نظر می‌شود)

$$_1Q_2 - {_1W_2} = U_2 - U_1 \quad \rightarrow \quad _1Q_2 - {_1W_2} = m(u_2 - u_1)$$

$$u_f = 850.64 \;,\; u_g = 2595.29 \;,\; v_g = 0.12736 \;,\; v_f = 0.001156$$

$$u_1 = x u_g + (1-x) u_f = (0.8)(2595.29) + (0.2)(850.64)$$

$$\Rightarrow u_1 = 2246.3 \;,\; v_1 = x v_g + (1-x) v_f = 0.1021$$

$$P_{sat} = 1553.8\ kPa \qquad u_2 = u_g \qquad v_2 = v_g$$

فرآیند فشار ثابت است.

$$_1W_2 = P \Delta V = P(V_2 - V_1) = Pm(v_2 - v_1)$$

$$_1W_2 = (1553.8)(2)(0.12736 - 0.1021) = 78.5\ kJ$$

اطلاعات را در قانون اول قرار می‌دهیم:

$$_1Q_2 = {_1W_2} + m(u_2 - u_1)$$

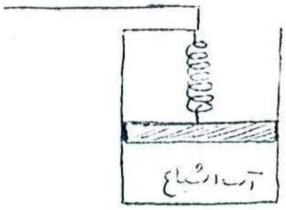
$$_1Q_2 = 78.5 + 2(2595.29 - 2246.3) = 776.48\ kJ$$

---

تمرین: اگر هدف حل دقیق مسئله باشد، تغییر انرژی پتانسیل ثقلی را باید در مسئله فوق در نظر گرفت. مسئله را در این حالت حل نمایید و با حل انجام شده مقایسه کنید.

---

تمرین: در شکل مطلوبست گرمای تبادلی




$$m_p = 5\,kg \;,\; m = 5\,kg$$

$$P_{atm} = 100\ kPa \;,\; A_p = 0.1\ m^2 \qquad k = 120\ \frac{kN}{m}$$

به سیستم گرما می‌دهیم تا حجم دو برابر شود.

مسائل: 5-11 ، 5-13 ، 5-18 حل شود.

## انتالپی: (enthalpy).

عبارت $(U+PV)$ در ترمودینامیک زیاد ظاهر می‌شود از اینرو آنرا انتالپی تعریف می‌نمایند.

$$H = U + PV$$

چون برحسب خاصیت‌ها تعریف شده، یک خاصیت و مستقل از مسیر است.

انتالپی مخصوص:

$$h = \frac{H}{m}$$

داریم:

$$h = \frac{H}{m} = \frac{U}{m} + \frac{PV}{m} \rightarrow h = u + Pv$$

این خاصیت در جداول ترمودینامیکی داده شده است. در حالت مخلوط:

$$h = x h_g + (1-x) h_f$$

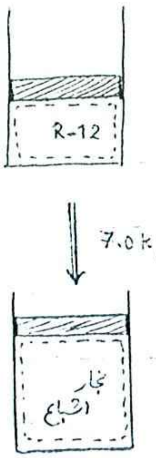
در مواردیکه در جداول $u$ وجود ندارد:

$$u = h - Pv$$

---

5.26

آدیاباتیک $\rightarrow Q = 0$




$$\begin{cases} T = 25^\circ C & V = 45\,L \\ x = 90\% \end{cases}$$

قانون اول ترمودینامیک:

$$_1Q_2 + (-_1W_2) = m(u_2 - u_1) + \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(Z_2 - Z_1)$$

$T = ?$

$$-_1W_2 = m(u_2 - u_1) \qquad -_1W_2 = +7.0\,kJ$$

$25^\circ C \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} v_f = 0.000763 \quad , \quad v_g = 0.02685$

$u_f = 59.21 \quad , \quad u_g = 180.23$

$$v_1 = x v_g + (1-x) v_f = (0.9)(0.02685) + (0.1)(0.000763) = 0.02424$$

$$m = \frac{V}{v_1} = \frac{0.045}{0.02424} = 1.856\ kg$$

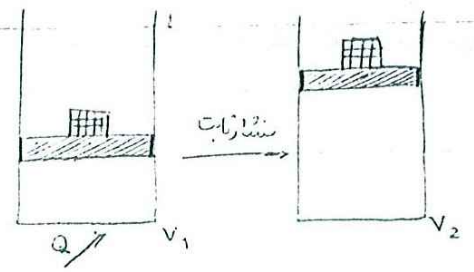
$$u_1 = x u_g + (1-x) u_f = (0.9)(180.23) + (0.1)\,59.21 = 168.28$$

$$-7 = 1.856\,(u_2 - 168.128)$$

$$\begin{cases} \text{بخار اشباع} \\ u_2 = 164.35 = u_g \end{cases}$$

$\xrightarrow[\text{R-12}]{\text{از جدول بخار اشباع}} T = -15^\circ C$

کار در فرآیند فشار ثابت یک سیستم:




$$ {}_1Q_2 - {}_1W_2 = (U_2 - U_1) + \dots $$

$$ {}_1Q_2 - P(V_2 - V_1) = U_2 - U_1 $$

$$ {}_1Q_2 = PV_2 - PV_1 + U_2 - U_1 $$

برای فرآیند فشار ثابت: $P_1 = P_2 \rightarrow {}_1Q_2 = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1) = \boxed{H_2 - H_1}$

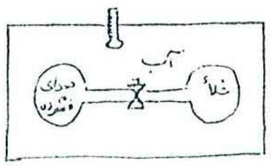
---

ظرفیت گرمایی ویژه حجم ثابت و فشار ثابت: (specific heat)

(constant volume and pressure)

تعریف: $C_v = \frac{\partial u}{\partial T}\Big)_v \quad , \quad C_p = \frac{\partial h}{\partial T}\Big)_p$

آزمایش ژول:




انرژی داخلی تابع فشار و حجم نیست، فقط تابع دماست.

$$ u = f(T) $$

نتیجه: انرژی داخلی گازهای کامل فقط تابع دماست.

از طرفی: $h = u + pv$

برای گاز کامل: $h = u_{(T)} + RT$

نتیجه: برای گازهای کامل انتالپی فقط تابع دماست.

$$ C_{v0} = \frac{du}{dT} \quad , \quad C_{p0} = \frac{dh}{dT} \qquad \begin{cases} du = C_{v0}\, dT \\ dh = C_{p0}\, dT \end{cases} $$

$$ u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_{v0}\, dT \quad , \quad h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_{p0}\, dT $$

برای محاسبهٔ انتگرال سه روش وجود دارد.

الف - روابط $C_{p0}$ و $C_{v0}$ برحسب دما، را از جدول آخر کتاب خوانده، و انتگرال گیری می کنیم.

ب - تعریف انتالپی استاندارد (دقیق‌ترین جواب)

$$ h^\circ_T = \int_{T_0}^{T} C_{p0}\, dT $$

($T_0$، دمای مبنای دلخواه)

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_{p0}\,dT = \int_{T_1}^{T_0} C_{p0}\,dT + \int_{T_0}^{T_2} C_{p0}\,dT = \int_{T_0}^{T_2} C_{p0}\,dT + \int_{T_1}^{T_0} C_{p0}\,dT$$

$$h_2 - h_1 = \int_{T_0}^{T_2} C_{p0}\,dT - \int_{T_0}^{T_1} C_{p0}\,dT = h^{\circ}_{T_2} - h^{\circ}_{T_1}$$

ج- اگر $C_{p0}$ و $C_{v0}$ را ثابت فرض کنیم مسئله را بصورت تقریبی حل می‌کنیم. دراینصورت:

$$u_2 - u_1 = C_{v0}(T_2 - T_1) \quad , \quad h_2 - h_1 = C_{p0}(T_2 - T_1)$$

---

رابطهٔ بین $C_{p0}$ و $C_{v0}$ برای گاز کامل:

$$h = u + Pv = u + RT$$

$$dh = du + R\,dT \qquad \frac{dh}{dT} = \frac{du}{dT} + R \longrightarrow \boxed{C_{p0} = C_{v0} + R}$$

---

مثال: 6-5 ص136

روش الف- (برای اکسیژن)

$$\bar{C}_{p0} = 37.342 + 0.020102\left(\frac{T}{100}\right)^{1.5} - 178.57\left(\frac{T}{100}\right)^{-1.5} + 236.88\left(\frac{T}{100}\right)^{-2} \quad \frac{kJ}{kmol}$$

$$\bar{h}_2 - \bar{h}_1 = \int_{300}^{1500} \bar{C}_{p0}\,dT = 40525 \ \frac{kJ}{kmol}$$

$$h_2 - h_1 = \frac{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}{M} = \frac{40525 \ \frac{kJ}{kmol}}{32 \ \frac{kg}{kmol}} = 1266.4 \ \frac{kJ}{kg}$$

روش ب- از جدول

$$h_2 - h_1 = h^{\circ}_{T_2} - h^{\circ}_{T_1}$$

$$\bar{h}^{\circ}_{T_2} = 40600 \ \frac{kJ}{kmol} \qquad T_2 = 1500^{\circ}K$$

$$\bar{h}^{\circ}_{T_1} = 54 \ \frac{kJ}{kmol} \qquad T_1 = 300^{\circ}K$$

$$\bar{h}_2 - \bar{h}_1 = \bar{h}^{\circ}_{T_2} - \bar{h}^{\circ}_{T_1} = 40546 \ \frac{kJ}{kmol} \qquad h_2 - h_1 = \frac{\bar{h}_2 - \bar{h}_1}{M}$$

$$h_2 - h_1 = \frac{40546 \ \frac{kJ}{kmol}}{32 \ \frac{kg}{kmol}} = 1267 \ \frac{kJ}{kg}$$

روش ج- از جدول کتاب $C_{p0}$ اکسیژن در $300^{\circ}K$ داده شده است.

$$C_{p0} = 0.9216 \ \frac{kJ}{kg\,^{\circ}K} \qquad h_2 - h_1 = C_{p0}(T_2 - T_1)$$

$$h_2 - h_1 = 0.9216(1500 - 300) = 1105.9 \ \frac{kJ}{kg}$$

اگر در تابع $C_{p0} = f(T)$ مقدار $C_{p0}$ در متوسط دمای فرآیند (یعنی $(300 + 1500)/2$ که برابر $900^{\circ}K$ است) را در محاسبه وارد می‌کردیم $1.5\%$ خطا بوجود می‌آمد.

قرارداد: از روش سوم و مقدار $C_{p0}$ و $C_{v0}$ جدول مربوط به $300^{\circ}K$ استفاده نموده تا محاسبات ساده

گردد مگر آنکه مسئله غیر از این تأکید نماید.

برای محاسبهٔ $U_2 - U_1$ دو روش وجود دارد.

الف - از راه جداول کتاب $U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1)$

ب - $U_2 - U_1 = mc\Delta T$

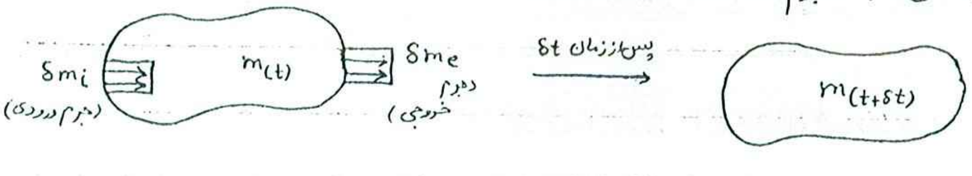
ج - اگر گاز کامل باشد از رابطهٔ گاز های کامل.

★. برای نیتروژن اگر گاز کامل باشد از راه ج و اگر در حالت مخلوط و یا مایع باشد از راه الف.

(مسئلهٔ 5-64)

فصل ۶. « تحلیل قانون اول ترمودینامیک برای یک حجم کنترل »

معادلهٔ پیوستگی (بقای جرم):




$$m_{(t)} + \delta m_i - \delta m_e = m_{(t+\delta t)} \rightarrow m_{(t+\delta t)} - m_{(t)} = \delta m_i - \delta m_e$$

$$\lim_{\delta t \to 0} \frac{m_{(t+\delta t)} - m_{(t)}}{\delta t} = \frac{\delta m_i}{\delta t} - \frac{\delta m_e}{\delta t} \rightarrow \frac{dm_{c.v.}}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_e$$

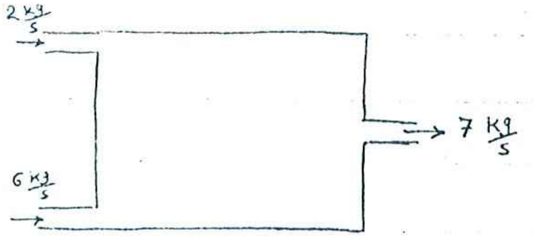
به $\frac{\delta m_i}{\delta t}$ شدت جرم ورودی یا دبی ورودی ($\dot{m}_i$) و به $\frac{\delta m_e}{\delta t}$ شدت جرم خروجی یا دبی خروجی ($\dot{m}_e$) گویند و به $\frac{dm_{c.v.}}{dt} = \lim_{\delta t \to 0} \frac{m_{(t+\delta t)} - m_{(t)}}{\delta t}$ «تغییرات جرم نسبت به زمان برای حجم کنترل» گویند.

اگر چند ورودی و چند خروجی داشته باشیم:

$$\frac{dm_{c.v.}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e$$ → معادلهٔ پیوستگی برای حجم کنترل

---

مثال: برای مخزن زیر مطلوبست تغییر جرم داخل مخزن نسبت به زمان.




$$\frac{dm_{c.v.}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e$$

$$= (2+6) - (7) = 1 \ \frac{Kg}{s}$$

---

قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل ( Control. Volume ).

اگر به میزان $\delta m_i$ جرم وارد یک حجم کنترل شود آنگاه به میزان $\delta m_i(u_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i)$ انرژی با خود به داخل حجم کنترل می برد.

از طرفی برای وارد شدن به حجم کنترل در نقطهٔ مورد نظر بایستی به میزان $(p\delta v_i)$ کار روی حجم کنترل انجام شود. بنابراین به میزان $p\delta v_i$ انرژی حجم کنترل اضافه می شود.

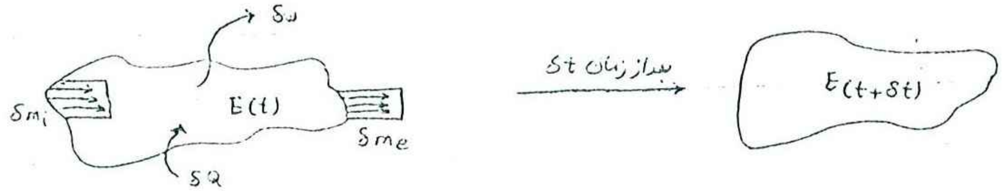
$$\delta m_i(u_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i)+p\delta v_i \qquad (\delta v_i = v_i\delta m_i)$$

(سرعت ← $V_i$، حجم ← $\delta v_i$)

$$\delta m_i(u_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i+P_i v_i) = \delta m_i(h_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i)$$

میزان انرژی ای که در اثر ورود جرم $\delta m_i$ وارد حجم کنترل می شود.

---




$$E_{(t+\delta t)} = E_{(t)} + \delta m_i(h_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i) - \delta m_e(h_e+\frac{V_e^2}{2}+gz_e) + \delta Q - \delta W$$

$$\frac{E(t+\delta t)-E(t)}{\delta t} = \frac{\delta m_i}{\delta t}(h_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i) - \frac{\delta m_e}{\delta t}(h_e+\frac{V_e^2}{2}+gz_e) + \frac{\delta Q}{\delta t} - \frac{\delta W}{\delta t}$$

$\delta t \to 0$

$$\frac{dE_{c.v}}{dt} = \dot{m}_i(h_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i) - \dot{m}_e(h_e+\frac{V_e^2}{2}+gz_e) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.}$$

$\dot{Q}_{c.v.}$ ← شدت (نرخ) تبادل گرما برای حجم کنترل

$\dot{W}_{c.v.}$ ← شدت تبادل کار (توان) برای حجم کنترل

اگر چند ورودی و چند خروجی داشته باشیم:

قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل:

$$\frac{dE_{c.v.}}{dt} = \sum \dot{m}_i(h_i+\frac{V_i^2}{2}+gz_i) - \sum \dot{m}_e(h_e+\frac{V_e^2}{2}+gz_e) + \sum \dot{Q}_{c.v.} - \sum \dot{W}_{c.v.}$$

فرآیندهای SSSF (حالت پایدار- جریان پایدار - Steady state - steady flow).

پایدار (steady): یعنی تغییراتی نسبت به زمان در هیچ کمیتی وجود ندارد. از نظر ریاضی $\frac{d}{dt}(\;)=0$

معادلهٔ پیوستگی برای sssf:

$$\frac{dm_{c.v.}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e \Rightarrow \sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

(0)

معادلهٔ قانون اوّل ترمودینامیک برای sssf:

$$\frac{dE_{c.v.}}{dt} = 0 \Rightarrow \sum \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) - \sum \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} = 0$$

---

تعریف: $q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \rightarrow \frac{kJ}{kg}$ گرما بر واحد جرم ، $w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \rightarrow \frac{kJ}{kg}$ کار واحد جرم

---

مثال 7-6 (صفحهٔ 176).

کار توربین ناشی از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل و انرژی حرارتی- فشاری می باشد. چون تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل در قیاس با انرژی حرارتی- فشاری ناچیز می باشد لذا در اکثر مسائل صرف نظر می شود.

فرآیند sssf است. رابطهٔ پیوستگی: $\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e = \dot{m}$

$\dot{m}_i = \dot{m}_e = 1.5\ \frac{kg}{s}$ $\dot{Q}_{c.v.} = -8.5\ kW$

قانون اوّل برای sssf: $\sum \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) - \sum \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} = 0$

$$\dot{W}_{c.v.} = \dot{m}\left[(h_i - h_e) + \left(\frac{V_i^2}{2} - \frac{V_e^2}{2}\right) + g(Z_i - Z_e)\right] + \dot{Q}_{c.v.}$$

از جدول $\begin{cases} P_i = 2.0\ MPa \\ T_i = 350\ ^\circ C \end{cases} \Rightarrow h_i = 3137\ \frac{kJ}{kg}$ $\begin{cases} P_e = 0.1\ MPa \\ x = 100\% \end{cases} \Rightarrow h_e = 2675.5\ \frac{kJ}{kg}$

$$\dot{W}_{c.v.} = 1.5\left[(3137 - 2675.5) + \left(\frac{50^2}{2\times(1000)} - \frac{200^2}{2\times 1000}\right) + \frac{9.8066(6-3)}{1000}\right] - 8.5$$

$$\dot{W}_{c.v.} = 655.7\ kW$$

تذکر: $J = N.m = kg.\frac{m^2}{s^2} = kg\left(\frac{m}{s}\right)^2$ واحد کار $W \Rightarrow J$

$$kJ = kg\left(\frac{m}{s}\right)^2 \times \frac{1}{1000}$$

بنابراین برای اینکه کار برحسب kJ بدست بیاید باید در فرمول بالا $V_i^2$ و $V_e^2$ تقسیم بر 1000 شوند.

در مثال بالا q و w را بیابید.

$$q = \frac{\dot{Q}_{c.v.}}{\dot{m}} = \frac{-8.5}{1.5} = -5.667\ \frac{kJ}{kg} \quad , \quad w = \frac{\dot{W}_{c.v.}}{\dot{m}} = \frac{655.7}{1.5} = 437.11\ \frac{kJ}{kg}$$

این یعنی، هر یک کیلوگرم بخار که از توربین عبور می کند 437.11 kJ کار انجام می دهد و 5.667 kJ گرما از بدنهٔ توربین خارج می شود.

رابطه ساده شده SSSF برای مسائلی که یک ورودی و یک خروجی دارند:

طبق رابطه پیوستگی: $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

$$\left( \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) + \dot{Q} - \dot{W} = 0 \right) \times \frac{1}{\dot{m}}$$

$$\Rightarrow \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) + q - w = 0$$

دیفیوزر: انرژی سرعتی را تبدیل به انرژی فشاری می‌کند. (دیفیوزر: بخش شونده در حالت پایدار - جریان پایدار)

---

مسئله 6-20 (صفحه 196).

- چون یک ورودی و یک خروجی دارد پس رابطه SSSF برای یک ورودی و یک خروجی:

$$\left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) + \cancel{q} - \cancel{w} = 0$$

تبادل گرما با محیط وجود ندارد و چون چرخنده‌ای نداریم، تبادل کار نیز وجود ندارد.

تغییر ارتفاع نداریم: $(Z_i = Z_e)$

$$h_i + \frac{V_i^2}{2} + \cancel{gZ_i} = h_e + \frac{V_e^2}{2} + \cancel{gZ_e}$$

$$h_i - h_e = \frac{V_e^2 - V_i^2}{2}$$

$$\Rightarrow C_p (T_i - T_e) = \frac{V_e^2 - V_i^2}{2}$$

از جدول

$$C_p = 1.0035 \ \frac{kJ}{kg^\circ}$$

$$1.0035 (300 - T_e) = \frac{20^2 - 200^2}{2} \Rightarrow T_e = 319.7^\circ K.$$

تذکر: برای اختلاف دما فرقی نمی‌کند که از کلوین یا سانتیگراد استفاده کنیم.

برای بدست آوردن فشار خروجی:

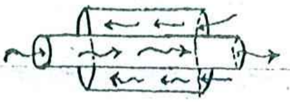
$$\dot{m}_i = \dot{m}_e \Rightarrow \rho_i A_i V_i = \rho_e A_e V_e \Rightarrow \frac{1}{v_i} A_i V_i = \frac{1}{v_e} A_e V_e \quad (I)$$

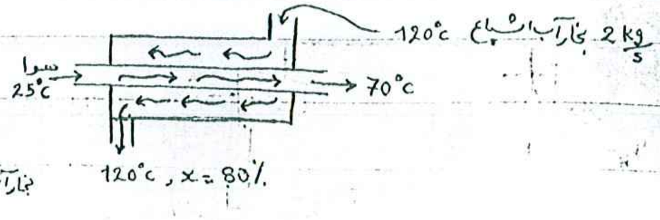
$$(Pv = RT) \quad \begin{cases} P_e v_e = RT_e \Rightarrow \frac{1}{v_e} = \frac{P_e}{RT_e} & (II) \\ P_i v_i = RT_i \Rightarrow \frac{1}{v_i} = \frac{P_i}{RT_i} & (III) \end{cases}$$

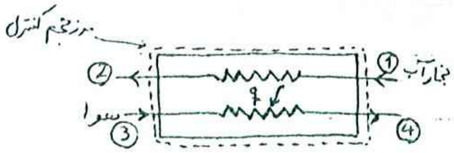
$$(II), (III) \text{ in } (I) \Rightarrow \frac{P_i A_i V_i}{RT_i} = \frac{P_e A_e V_e}{RT_e} \Rightarrow P_e = \frac{T_e P_i A_i V_i}{T_i A_e V_e}$$

$$P_e = \frac{319.7 \times 100 \times 10^{-4} \times 200}{300 \times 8.6 \times 10^{-4} \times 20} = 123.91 \ KPa$$

مسئله: در مبدل حرارتی شکل زیر مطلوب است دبی جرمی هوا. ②






رابطهٔ sssf

$$\sum \dot m_i(h_i+\cdots) - \sum \dot m_e(h_e+\cdots) + \dot Q_{c.v} - \dot W_{c.v} = 0$$

$$[\dot m_1 h_1 + \dot m_3 h_3] - [\dot m_2 h_2 + \dot m_4 h_4] = 0 \qquad \begin{cases} \dot m_1 = \dot m_2 = 2\ \frac{kg}{s} & \text{آب} \\ \dot m_3 = \dot m_4 = ? & \text{هوا} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \dot m_1(h_1-h_2) + \dot m_3(h_3-h_4) = 0$$

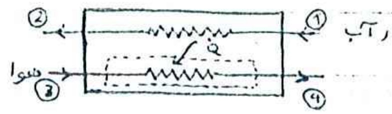
از جدول آب اشباع: $\begin{cases} 120°c \\ h_f = 503.69 \\ h_g = 2706.30 \end{cases}$

$$h_1 = h_g = 2706.3\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = x h_g + (1-x) h_f = (0.8)(2706.3) + (0.2)(503.69) = 2265.7\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_3 - h_4 = c_p \Delta T = c_p(T_2 - T_1) = 1.0035(25-70) = -45.15$$

$$\Longrightarrow 2(2706.3 - 2265.7) + \dot m_3(-45.15) = 0 \quad \Rightarrow \dot m_3 = 19.5\ \frac{kg}{s}$$




مقدار تبادل گرمای دو سیال را بدست آورید:

- برای محاسبهٔ گرمای تبادلی باید مرز حجم کنترل را بصورت مقابل بگیریم.

$$\sum \dot m_i(h_i+\cdots) - \sum \dot m_e(h_e+\cdots) + \dot Q_{c.v} - \dot W_{c.v} = 0$$

$$(\dot m_3 h_3 - \dot m_4 h_4) + \dot Q_{c.v} = 0$$

$$\dot Q = \dot m_3(h_3 - h_4) = \dot m_3 c_p (T_4 - T_3) = (19.5)(1.0035)(70-25) = 880.57\ kw$$

---

ظرفیت گرمایی ویژهٔ جامدات و مایعات:

$h = u + pv \qquad dh = du + d(pv)$

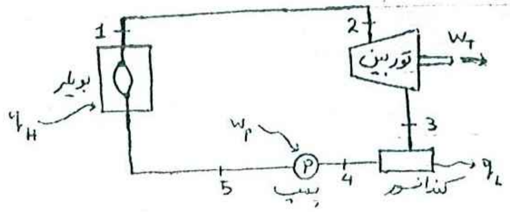
چون $v$ در مایعات و جامدات بسیار کوچک است. از $d(pv)$ صرف نظر می‌شود. $\quad dh \simeq du$

بنابراین ضرورتی به تفکیک تعریف ظرفیت گرمایی ویژه بصورت حجم ثابت و فشار ثابت نیست.

$$c_p = \frac{\partial h}{\partial T}, \quad c_v = \frac{\partial u}{\partial T} \qquad c_p = c_v = c \rightarrow dh = du = c\,dT$$

با فرض ثابت بودن $c$ $\Rightarrow h_2 - h_1 = u_2 - u_1 = c(T_2 - T_1)$

مسئله: شکل زیر سیکل یک نیروگاه حرارتی را نشان می‌دهد. مطلوبست توان توربین و هم چنین نرخ تبادل گرمای کندانسور و دیگ بخار.




کندانسور (تقطیر کننده)

1) 2 MPa 300°C

2) 1.9 MPa 290°C

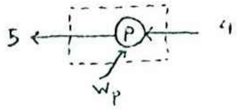
3) 15 kPa $x = 90\%$

4) 14 kPa 45°C

و $\dot{W}_p = -80\ \text{kW}$ ، $\dot{m} = 20\ \frac{kg}{s}$

حل: از جدول $h_1 = 3023.5$ ، $h_2 = 3002.43$ ، $h_3 = 2361.7$

$h_4 = 188.45$ .




$$(h_i+\dots)-(h_e+\dots)+q-w_p=0 \quad (q=0)$$

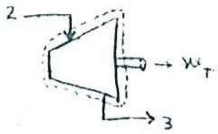
$$w_p = h_i - h_e = h_4 - h_5$$

$$w_p = \frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = \frac{-80}{20} = -4\ \frac{kJ}{kg} \qquad h_5 = h_4 - w_p = 188.45 + 4 = 192.45$$

علامت منفی $\dot{W}_p$ بخاطر این است که پمپ کار مصرف می‌کند.

---

برای توربین:



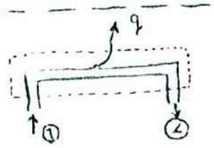

$$(h_i+\dots)-(h_e+\dots)+q-w_T=0 \quad (q=0)$$

$$w_T = h_i - h_e = h_2 - h_3 = 640.7\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{W}_T = \dot{m} w_T = (20)(640.7) = 12814.6\ \text{kW}$$ توان توربین

---

برای کندانسور:



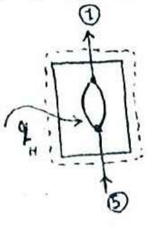

$$(h_i+\dots)-(h_e+\dots)+q-w=0 \quad (w=0)$$

$$q = h_e - h_i = h_2 - h_1 = -21\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_{1\to 2} = \dot{m} q_{1\to 2} = (20)(-21) = -420\ \text{kW}$$ نرخ تبادل گرمای کندانسور

---

برای بویلر (دیگ بخار).




$$(h_i+\dots)-(h_e+\dots)+q-w=0$$

$$q = h_e - h_i = h_1 - h_5 = 2831\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} q = (20)(2831) = 56620\ \text{kW}$$ نرخ تبادل گرمای دیگ بخار

تعریف - راندمان حرارتی (thermal efficiency):

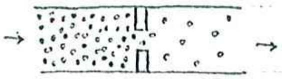
$$\eta_{th} = \frac{\text{پارامتر مفید}}{\text{پارامتر هزینه}} \qquad \eta_{th} = \frac{\text{نرخ کار خالص}}{\text{نرخ گرمای مصرفی}}$$

راندمان حرارتی برای مسئلهٔ قبل

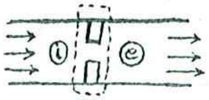
$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_P}{Q_H} = \frac{12814.6 - 80}{56620} = 0.2 = 20\%$$

---

فرآیند خفقان (اختناق) (throttling process)



کار یک شیر، کوچک کردن مقطع هندسی عبور جریان است و در نتیجهٔ آن فشار کاهش می‌یابد.



رابطهٔ SSSF برای یک ورودی و یک خروجی:

$$\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g\cancel{Z_i}\right) - \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g\cancel{Z_e}\right) + \cancel{q} - \cancel{w} = 0$$

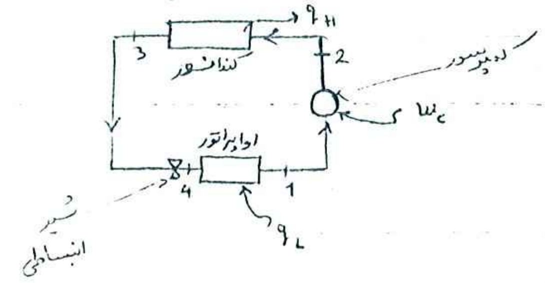
$$h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2}$$

$$h_i = h_e$$

جملهٔ جنبشی در قیاس با آنتالپی بسیار کوچک است و صرف‌نظر می‌شود.

---

مسئله: شکل زیر یک سیکل تبرید را نشان می‌دهد که در آن مبرد R12 و دبی جرمی $0.01\ \frac{kg}{s}$ می‌باشد. مطلوبست توان تبرید و توان کمپرسور.




① 125 Kpa , -10°C

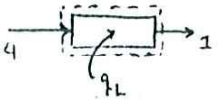
② 1.2 Mpa , 100°C

③ 1.15 Mpa , 40°C

④ 140 Kpa

حل: از جدول → $h_1 = 185.163$ , $h_2 = 245.518$ $h_3 = 74.527$

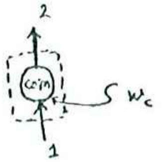
$h_4 = h_3$




$$(h_i + \cdots) - (h_e + \cdots) + q - \cancel{w} = 0$$

$$q_L = h_e - h_i = h_1 - h_4 = 110.636\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m} q_L = (0.01)(110.636) = 1.1\ kW$$ توان تبرید




$$w_c = h_i - h_e = h_1 - h_2 = -60.355 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{W}_c = \dot{m} w_c = -0.6 \ kW$$ توان کمپرسور

ضریب عملکرد = پارامتر مفید / پارامتر هزینه $\Rightarrow \beta = \left| \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_c} \right|$

coefficient of performance

$$\beta = \left| \frac{1.1}{0.6} \right| = 1.83$$

---

تعریف: ـ ضریب ژول تامسون.

$$\mu_J = \frac{\partial T}{\partial P}\Big)_h = \frac{T \frac{\partial v}{\partial P})_P - v}{C_p}$$ یک خاصیت است.

اگر $\mu_J > 0$ باشد در گذر از شیر دما کاهش می‌یابد.

اگر $\mu_J = 0$ باشد در گذر از شیر دما ثابت می‌ماند.

اگر $\mu_J < 0$ باشد در گذر از شیر دما افزایش می‌یابد.

$$\mu_J = \frac{\Delta T}{\Delta P}\Big)_h = \frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1}$$

چون همیشه در گذر از شیر همیشه $P_2 < P_1$ است، مخرج کسر همیشه منفی است. اگر $\mu_J > 0$ باشد یعنی صورت هم منفی است یعنی $T_2 < T_1$ و دما کاهش می‌یابد.

★ $\mu_J$ در موارد صنعتی همیشه مثبت است.

★ $\mu_J$ برای گازهای کامل صفر است.

---

مسائل: 6-9، 6-13، 6-19، 6-20، 6-27، 6-29، 6-31، 6-39، 6-47.

فرآیند USUf : حالت یکنواخت ـ جریان یکنواخت ( uniform state - uniform flow )

حجم کنترلی که دارای شرایط زیر باشد:

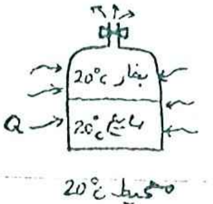
الف) حالت سیال داخل حجم کنترل بدون تغییر بوده می‌توان به کل ماده داخل حجم کنترل یک خاصیت نسبت داد ولی جرم داخل حجم کنترل می‌تواند متغیر باشد.

ب) حالت جریان در روی مرزها ثابت ولی مقدار آن می‌تواند تغییر کند.

خلاصه: مسائل
- گذر جرمی ندارد ← سیستم
- گذر جرمی دارد ← حجم کنترل
  - جرم آن ثابت می‌باشد SSSf
  - جرم آن تغییر می‌کند USUf

---

مثال از فرآیند USUf : پر شدن و دشارژ مخازن




---

معادله پیوستگی برای USUf :

برای حجم کنترل $\quad \frac{dm_{c.v.}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e$

رابطه را در dt ضرب کرده و در فاصله زمانی t انتگره می‌گیریم

$$\int_{t_1}^{t_2} dm_{c.v.} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \dot{m}_i \, dt - \int_{t_1}^{t_2} \sum \dot{m}_e \, dt \qquad (I)$$

یادآوری: مثال $\frac{dx}{dt} = \dot{x}$ و $\frac{dV}{dt} = \dot{V}$ , . . . . , $\dot{m} = \frac{dm}{dt}$

$$\rightarrow \int dm = \int_{t_1}^{t_2} \dot{m} \, dt = m$$

$$(I) \rightarrow \quad m_{c.v.} \Big]_{t_1}^{t_2} = \sum m_i - \sum m_e$$

$\sum m_i$: مقدار جرمی که در فاصله زمانی $[t_1, t_2]$ وارد شده

$\sum m_e$: مقدار جرمی که در فاصله زمانی $[t_1, t_2]$ خارج شده

$$m_{c.v.(t_2)} - m_{c.v.(t_1)} = \sum m_i - \sum m_e$$

$$(m_2 - m_1)_{c.v.} = \sum m_i - \sum m_e \quad \leftarrow \text{معادله پیوستگی}$$

معادلهٔ انرژی: (قانون اول ترمودینامیک) برای USUF -

برای حجم کنترل داشتیم: $\frac{dE_{c.v.}}{dt} = \sum \dot{m}_i (h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i) - \sum \dot{m}_e (h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.}$

رابطهٔ بالا را در $dt$ ضرب و در یک بازهٔ زمانی انتگره می‌کنیم داریم:

$$\int_{t_1}^{t_2} dE_{c.v.} = \int_{t_1}^{t_2} \sum \dot{m}_i (h_i + \cdots)\,dt - \int_{t_1}^{t_2} \sum \dot{m}_e (h_e + \cdots)\,dt + \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{c.v.}\,dt - \int_{t_1}^{t_2} \dot{W}_{c.v.}\,dt$$

$$\rightarrow (E_2 - E_1)_{c.v.} = \sum m_i (h_i + \cdots) - \sum m_e (h_e + \cdots) + {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

کل گرمایی که در فاصلهٔ زمانی $[t_1, t_2]$ تبادل شده است.

کل کاری که در فاصلهٔ زمانی $[t_1, t_2]$ تبادل شده است.

(تذکر: عبارت « $h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i$ » و « $h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e$ » به دلیل اینکه حالت جریان روی مرزها ثابت می‌ماند، ثابت است و از انتگرال بیرون می‌آید).

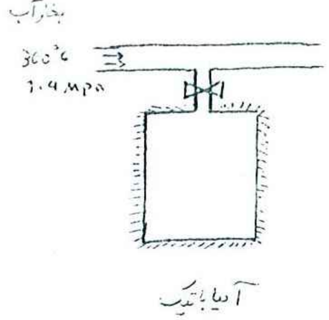
$$\left[ m_2 (u_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2) - m_1 (u_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1) \right]_{c.v.} =$$

$$= \sum m_i (h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i) - \sum m_e (h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e) + {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

(معادلهٔ انرژی (قانون اول) برای USUF)

---

مثال 11-6




فرآیند USUF.

معادلهٔ پیوستگی:

$$(m_2 - m_1)_{c.v.} = \sum m_i - \sum m_e$$

$$m_{2\,c.v.} = m_i \quad (I)$$

قانون اول:

$$[m_2(u_2 + \cdots) - m_1(u_1 + \cdots)]_{c.v.} = \sum m_i (h_i + \cdots) - \sum m_e (h_e + \cdots) + {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

$$m_2 u_2 = m_i h_i \quad (II)$$

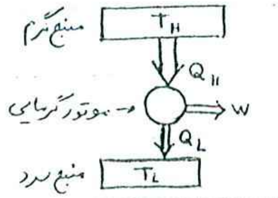
$$(I), (II) \rightarrow u_2 = h_i$$

از جدول $\begin{cases} T = 300°c \\ P = 1.4\,Mpa \end{cases} \rightarrow h_i = 3040.4 \rightarrow u_2 = 3040.4$

$② \begin{cases} P_2 = 1.4\,Mpa \\ u_2 = 3040.4 \end{cases} \xrightarrow{\text{جدول}} T_2 = 452°c$

## فصل هفتم : «قانون دوم ترمودینامیک»

موتور گرمایی ( heat engine ) : سیستمی که در یک سیکل عمل کرده ، از یک منبع گرما می‌گیرد ، بخشی از آنرا تبدیل به کار می‌کند و باقی مانده را به یک منبع سرد می‌دهد.

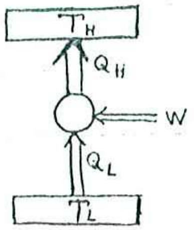



$$Q_H = Q_L + W$$

$$\eta_{th} = \frac{\text{پارامتر مفید}}{\text{پارامتر هزینه}} = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

---

پمپ حرارتی ( heat pump ) : سیستمی است که در یک سیکل عمل کرده از منبع سرد گرما می‌گیرد کار مصرف می‌کند و به منبع گرم گرما می‌دهد.




برای هیت پمپ

قرار داد {
- اگر به منظور سرد کردن بکار گرفته شود سیکل تبرید نامند.
- اگر به منظور گرم کردن به کار گرفته شود همان هیت پمپ نامیده می‌شود.

تعریف : $\text{ضریب عملکرد} = \frac{\text{پارامتر مفید}}{\text{پارامتر هزینه}}$

اگر تبرید باشد: $\beta = \frac{Q_L}{W}$

اگر هدف گرم کردن باشد: $\beta' = \frac{Q_H}{W}$

$$\beta = \frac{\frac{Q_L}{Q_L}}{\frac{W}{Q_L}} = \frac{1}{\frac{Q_H - Q_L}{Q_L}} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} \quad , \quad \beta' = \frac{\frac{Q_H}{Q_H}}{\frac{W}{Q_H}} = \frac{1}{\frac{Q_H - Q_L}{Q_H}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

$$\boxed{\beta' - \beta = 1}$$

---

منبع حرارتی ( thermal reservoir ) : منبعی که هر میزان گرما بگیرد یا پس دهد ، دمای آن تغییر نمی‌کند.

منبع حرارتی {
- اگر گرما بگیرد چاه حرارتی ( thermal sink ) نامیده می‌شود.
- اگر گرما بدهد چشمه حرارتی (thermal surce) نامیده می‌شود.

---

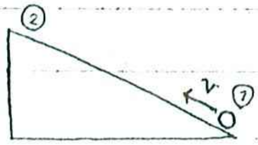
قانون دوم ترمودینامیک : الف - بیان کلوین - پلانک : غیر ممکن است بتوان دستگاهی ساخت که در یک سیکل عمل کرده ، کار انجام دهد ، و تنها با یک منبع حرارتی تبادل گرما نماید. (به عبارتی دیگر : نمی‌توان موتور حرارتی ای

ساخت که فقط با یک منبع تبادل گرما نماید (راندمان آن ٪100 باشد).

ب- بیان کلوزیوس: ساختن دستگاهی که در یک سیکل عمل کرده و تنها اثرش انتقال گرما از منبع سرد به منبع گرم باشد غیر ممکن است. (به عبارتی دیگر: ساختن پمپ حرارتی ای که ضریب عملکرد آن بی نهایت باشد (کار مصرف نکند) غیر ممکن است.)

$$\beta' = \frac{Q_H}{W}$$

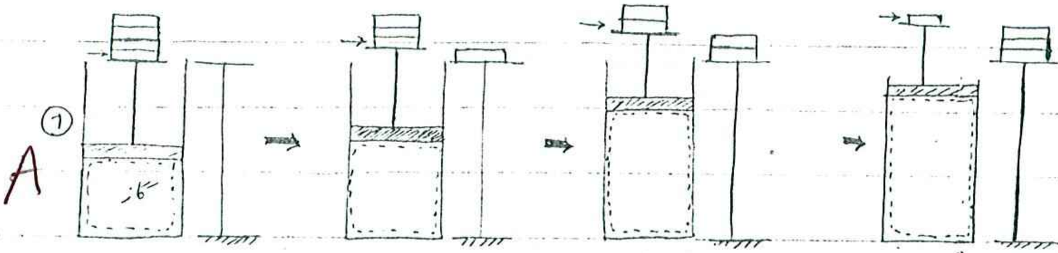
فرآیند برگشت پذیر (reversible process): هرگاه بتوان فرآیندی را در جهت عکس بگونه ای از حالت ثانویه به اولیه رساند که هیچ اثری بر محیط گذاشته نشود فرآیند را برگشت پذیر گویند.

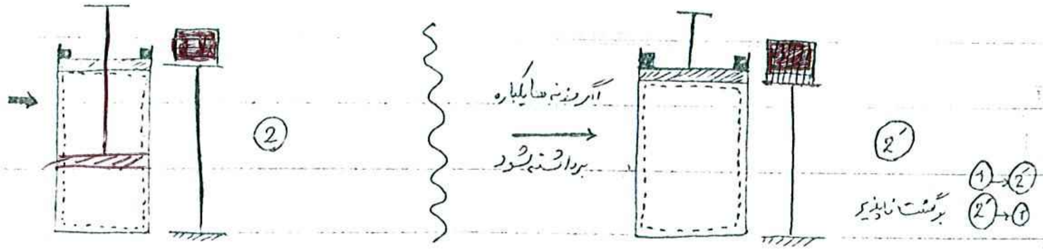



مثال: گلوله ای از نقطه ① با سرعت v به سمت بالای سطح به حرکت در می آید و به نقطه ② می رسد (سرعت = صفر)، اگر سطح اصطکاک نداشته باشد، سرعت گلوله در هنگام برگشت در هنگام عبور از نقطه ①، برابر با سرعت v است.

(به فرآیند برگشت پذیر فرآیند ایده آل نیز گویند)

---

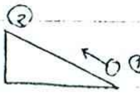


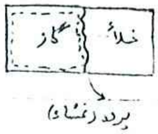

در فرآیند 2 ← 1 سیستم روی محیط کار انجام می دهد و در فرآیند 1 ← 2 محیط روی سیستم کار انجام می دهد. هرچقدر وزنه ها ریزتر باشند اختلاف دو کار کمتر خواهد بود بطوریکه اگر وزنه ها بی اندازه ریز شود این دو کار برابر می باشند یعنی فرآیند از حالت ثانویه به اولیه رفته، روی محیط اثری نگذاشته و برگشت پذیر است.

---

عوامل برگشت ناپذیری:

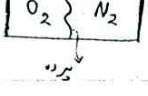



1) اصطکاک:

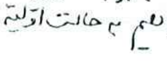



2) انبساط آزاد گاز:

اگر پرده خود به خود پاره شود گاز و خلأ با هم در می آمیزند. ولی برای جدا کردن مجدد گاز باید کار انجام دهیم.




3) اختلاط دو گاز:




4) انتقال حرارت در اثر اختلاف دما:

دو جسم با هم به طور خود بخود تبادل گرما کرده و به دمای تعادل می رسند ولی اگر بخواهیم به حالت اولیه (دمای اولیه) برگردانیم

باید از یکی گرما گرفته و به دیگری گرما بدهیم که خود ملزوم انتقال حرارت و انجام کار است.

- این دو قطعه خود بخودی تبادل گرما نموده به تعادل می‌رسند هرچقدر اختلاف دما کمتر باشد برگرداندن سیستم به حالت اولیه ساده‌تر است.

- در حالت حدی که اختلاف دما خیلی کم و به اندازهٔ $dT$ است فرآیند انتقال حرارت را برگشت پذیر درنظر می‌گیرند.

5) عوامل دیگر: تلفات سیمی ( $RI^2$ ) - هیسترزیس - انفجار - احتراق و...

(انفجار: تبدیل ناگهانی جامد و یا مایع به گاز همراه با آزادسازی عظیم انرژی حرارتی.)

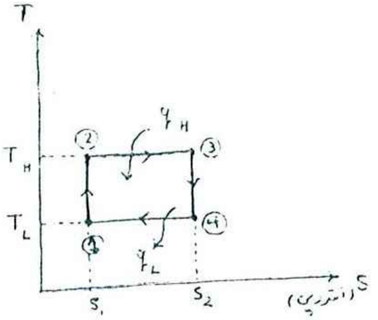
---

نت: در فصل ششم مطرح خواهد شد:

- الف - انتروپی یک خاصیت سیستم است و با S نمایش داده می‌شود.
- ب - اگر فرایندی آدیاباتیک و برگشت پذیر باشد انتروپی آن ثابت می‌ماند و این فرآیند را آیزنتروپیک گویند.

---

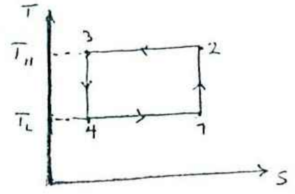
تعریف: موتور حرارتی کارنو: سیکلی است که شامل چهار فرآیند زیر است:




- الف - افزایش دما از منبع سرد به گرم بصورت آدیاباتیک و برگشت پذیر.
- ب - گرماگیری سیستم در دمای ثابت بصورت برگشت پذیر.
- ج - کاهش دما از منبع گرم به سرد بصورت آدیاباتیک و برگشت پذیر.
- د - گرما دهی سیستم بصورت برگشت پذیر در دمای ثابت.

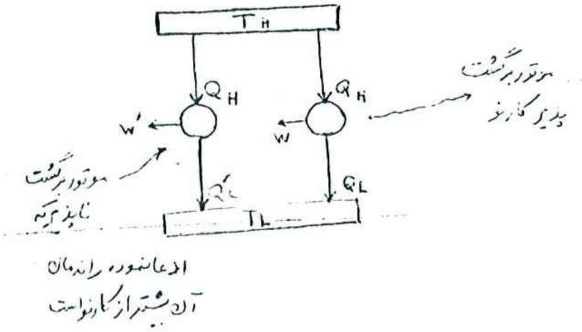
---

تعریف: پمپ حرارتی کارنو (عکس موتور حرارتی کارنو).




---

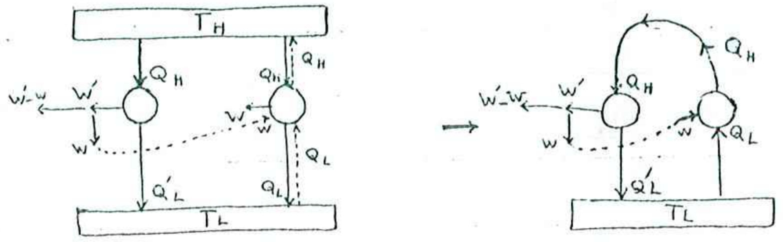
قضیه: ساختن موتور حرارتی‌ای که بین دو منبع حرارتی یکسان با موتور حرارتی کارنو کار کند و راندمان آن بیشتر از موتور کارنو باشد غیر ممکن است (یا به عبارتی: راندمان موتور حرارتی کارنو بیشترین مقدار ممکنه است).



برهان خلف: اگر موتوری ساخته شود که راندمان آن بیشتر از کارنو باشد، آنگاه:

به ازای $Q_H$ یکسان، سیکل با راندمان بیشتر باید کار بیشتری تولید کند: $\eta = \frac{W}{q_H}$

بنابراین: $\eta < \eta' \rightarrow W < W' \Rightarrow Q_L > Q'_L$




---

قضیه: تمام موتورهای کارنو که بین دو منبع حرارتی یکسان کار می‌کنند دارای راندمان برابرند. (اثبات: در کتاب)

این قضیه بیان می‌دارد: $\eta_{car} = f(T_L, T_H)$

می‌توان نشان داد: $f(T_L, T_H) = \frac{F(T_L)}{F(T_H)}$ $\quad \eta = \frac{F(T_L)}{F(T_H)}$ ①

از طرفی داشتیم: $\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$ ②

$$①, ② \Rightarrow \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{g(T_L)}{g(T_H)}$$

کلوین ساده‌ترین فرم ممکن برای تابع را اختیار نمود.

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \eta_{car} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

---

برای سیکل تبرید داشتیم: $\beta = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$

بنابراین برای سیکل تبرید کارنو:

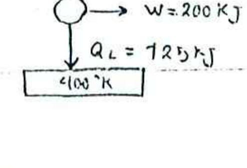
$$\beta = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

برای پمپ حرارتی داشتیم: $\beta' = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$

برای پمپ حرارتی کارنو: $\beta' = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$

---

مسئله ۷-۱۷.




بهترین موتور کارنو (برگشت‌پذیر) است. اگر این موتور کارنو باشد

$$\eta_{car} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{400}{1000} = 0.6 = 60\%$$

$$\eta_{eng} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{125}{325} = 0.615 = 61.5\%$$

با شرایط نشان داده شده:

ساختن چنین موتوری غیر ممکن است.

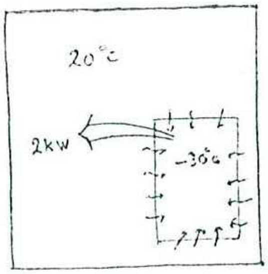
---

بطور کلی:

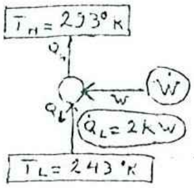
- موتور برگشت ناپذیر: If $\eta_{eng} < \eta_{car}$
- موتور برگشت پذیر: If $\eta_{eng} = \eta_{car}$
- موتور غیر ممکن: If $\eta_{eng} > \eta_{car}$

---

مسئله 7-15.




گرمای ورودی به یخچال از دیواره ها 2kW می باشد بنابراین برای ثابت ماندن دمای یخچال باید 2kW گرما از یخچال خارج شود.




برای اینکه کمترین توان مصرف شود سیکل باید کارنو باشد.

$$\beta = \frac{Q_L}{W} \quad , \quad W = \frac{Q_L}{\beta} \qquad \beta_{car} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{293}{243} - 1} = 4.86$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_L}{\beta} = \frac{2}{4.86} = 0.411 \text{ kW}$$

---

مسائل: 7-15 ، 7-20 ، 7-21 ، 7-23 ، 7-38

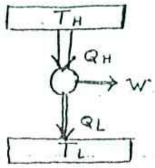
## فصل هشتم: «انتروپی» ( entropy )

1. نابرابری کلوزیوس: انتگرال سیکلی گرما به دما برای کلیه سیکل‌ها کوچکتر یا مساوی صفر است. $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$

این نابرابری از قانون دوم نتیجه می‌شود. کافیست برای اثبات نشان دهیم در حالت‌های چهارگانه زیر صادق است.

الف- موتور حرارتی برگشت پذیر  ب- موتور حرارتی برگشت ناپذیر  ج- پمپ حرارتی برگشت پذیر  د- پمپ حرارتی برگشت ناپذیر

---



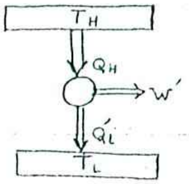

الف- موتور حرارتی برگشت پذیر:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{-Q_L}{T_L}$$

در فصل قبل داشتیم. برای سیکل برگشت پذیر:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L} \Rightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$




ب- موتور حرارتی برگشت ناپذیر:

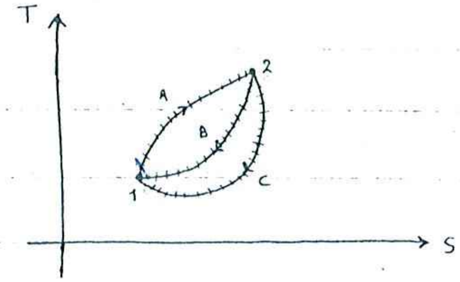
$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{-Q'_L}{T_L} \Rightarrow \eta' < \eta_{car}$$

$$\to W' < W \to Q'_L > Q_L \Rightarrow \frac{Q'_L}{T_L} > \frac{Q_L}{T_L}$$

$$\frac{Q'_L}{T_L} > \frac{Q_H}{T_H} \qquad \frac{Q_H}{T_H} + \frac{-Q'_L}{T_L} < 0 \Rightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$

ج و د- متشابهاً استدلال می‌شود.

---




انتروپی:

برای سیکل‌های برگشت پذیر: $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$

برای سیکل AB:

$$\int_{1A}^{2A} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2B}^{1B} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

برای سیکل AC:

$$\int_{1A}^{2A} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2C}^{1C} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

از برابر قرار دادن دو رابطه داریم:

$$\int_{2B}^{1B} \frac{\delta Q}{T} = \int_{2C}^{1C} \frac{\delta Q}{T}$$

عبارت داخل انتگرال در دو مسیر مختلف انتگرال شده و مقدار مساوی بدست داده است. یعنی تابع مسیر نمی‌باشد. بنابراین یک خاصیت است که آنرا انتروپی نامیده و با S نمایش می‌دهند: برای فرآیند برگشت پذیر $dS = \frac{\delta Q}{T}$

$$\int_1^2 dS = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \to S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

برای تعدادی سیالات، این خاصیت در جداول آمده است. انتروپی مخصوص $s = \frac{S}{m}$

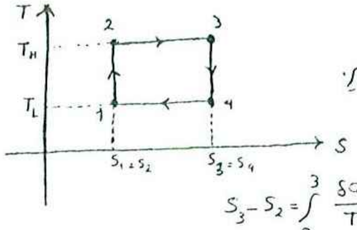
می‌توان نوشت: برای یک مخلوط (مانند حجم مخصوص) $s = x s_g + (1-x) s_f$

اگر فرآیندی آدیاباتیک و برگشت پذیر باشد:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = 0 \qquad S_1 = S_2$$

یعنی انتروپی ثابت می‌ماند. چنین فرآیندی را آیزنتروپیک گویند.

موتور حرارتی کارنو:




(1→2) افزایش دما از منبع سرد به منبع گرم بصورت آدیاباتیک و برگشت پذیر.

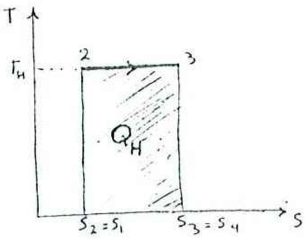
$$S_1 = S_2$$

(2→3) گرماگیری سیستم در دمای ثابت و برگشت پذیر.

$$S_3 - S_2 = \int_2^3 \frac{\delta Q}{T}$$

T ثابت $\rightarrow S_3 - S_2 = \frac{1}{T_H}\int_2^3 \delta Q = \frac{Q_{23}}{T_H} = \frac{Q_H}{T_H}$ , $Q_H = T_H(S_3 - S_2)$

$Q_H$ برابر مساحت زیر فرآیند 2→3 می‌باشد.

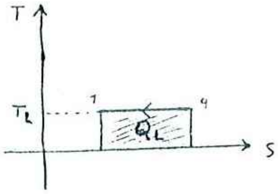



(3→4) کاهش دما از منبع سرد به منبع گرم بصورت آدیاباتیک و برگشت پذیر.

$$S_3 = S_4$$

(4→1) گرمادهی سیستم بصورت دما ثابت و برگشت پذیر.

$$S_1 - S_4 = \int_4^1 \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T_L}\int_4^1 \delta Q = \frac{Q_{41}}{T_L} = \frac{Q_L}{T_L} \quad , \quad Q_L = T_L(S_1 - S_4)$$

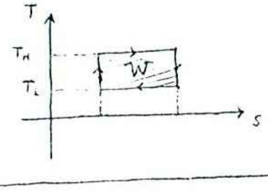



نکته: حرکت فرآیند از چپ به راست یعنی گرماگیری سیستم (Q مثبت بدست می‌آید) و حرکت فرآیند از راست به چپ یعنی گرمادهی سیستم (Q منفی)

---

$$W = Q_H - Q_L$$

سطح داخلی نمودار برابر کار یک سیکل خواهد بود.

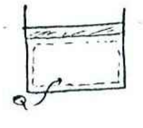



---

تغییر انتروپی تبخیر: اگر یک کیلوگرم مایع اشباع در فشار ثابت تبدیل به بخار اشباع شود داریم:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

$$S_2 - S_1 = \frac{1}{T_{sat}}\int_1^2 \delta Q \rightarrow S_2 - S_1 = \frac{{}_1Q_2}{T_{sat}}$$

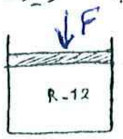



برای یک فرآیند فشار ثابت، گرمای تبادلی برابر با تغییر انتالپی است.

$$S_2 - S_1 = \frac{H_2 - H_1}{T_{sat}}$$

$$\rightarrow S_2 - S_1 = \frac{h_2 - h_1}{T_{sat}} \rightarrow S_g - S_f = \frac{h_g - h_f}{T_{sat}} \rightarrow \boxed{S_{fg} = \frac{h_{fg}}{T_{sat}}}$$

مثال: سیلندری حاوی بخار اشباع R-12 در دمای 10°C- می‌باشد که تحت یک فرآیند آدیاباتیک برگشت پذیر تا فشار 1.6Mpa فشرده می‌شود. کار واحد جرم تبادلی سیستم را بدست آورید. ①




قانون اول برای سیستم:

$$ {}_1Q_2 - {}_1W_2 = m(u_2 - u_1) + \cdots $$

$$ q = \frac{Q}{m} \quad , \quad w = \frac{W}{m} \qquad {}_1q_2 - {}_1w_2 = u_2 - u_1 \qquad -{}_1w_2 = u_2 - u_1 $$

از جدول R-12 ① $\begin{cases} T = -10^\circ C \\ \text{بخار اشباع} \end{cases}$ → (جدول) $\begin{cases} u_1 = u_g = 166.39 \ \frac{kJ}{kg} \\ S_1 = S_g = 0.7019 \ \frac{kJ}{kg^\circ C} \end{cases}$

② $\begin{cases} P = 1.6 Mpa \\ S_2 = S_1 = 0.7019 \ \frac{kJ}{kg^\circ C} \end{cases}$ → (جدول)

$$ u_2 = 200.352 \ \frac{kJ}{kg} $$

$$ {}_1w_2 = u_1 - u_2 = -34.087 \ \frac{kJ}{kg} $$

---

دو رابطه مهم ترمودینامیکی:

قانون اول بصورت دیفرانسیلی:

$$ \delta Q - \delta W = du \rightarrow \delta Q = \delta u + \delta W $$

$$ \boxed{T ds = du + p dv} \qquad I $$

داشتیم: $h = u + pv$

$$ dh = \underbrace{du + p dv}_{T ds} + v dp \rightarrow \boxed{T ds = dh - v dp} \qquad II $$

---

مثال: نشان دهید برای یک پمپ آیزنتروپیک اگر انرژی جنبشی و پتانسیل ثقلی ناچیز باشد:

$$ w = -v \Delta p $$

$$ \overset{0}{\cancel{T ds}} = dh - v dp \qquad dh = v dp \qquad \int_1^2 dh = \int_1^2 v dp $$

در یک پمپ مایع جریان دارد و مایع سیال تراکم ناپذیر است. بنابراین $v$ ثابت است.

$$ \int_1^2 dh = v \int_1^2 dp \rightarrow h_2 - h_1 = v(P_2 - P_1) = v \Delta p $$

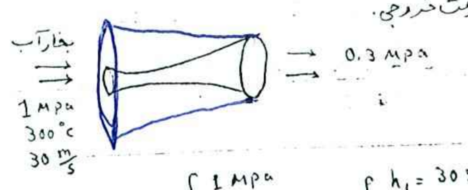
طبق قانون اول

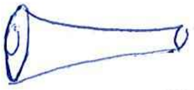
$$ (h_i + \cdots) - (h_e + \cdots) + \overset{0}{\cancel{q}} - w = 0 $$

$$ w = h_i - h_e = h_1 - h_2 = -v \Delta p $$

---

مثال: اگر جریان در شیپوره شکل آیزنتروپیک باشد. مطلوبست سرعت خروجی.



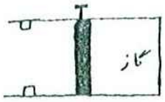



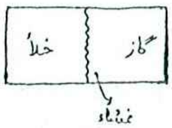
$$ h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2} $$

① $\begin{cases} 1 Mpa \\ 300^\circ c \end{cases}$ → $\begin{cases} h_1 = 3051.2 \\ S_1 = 7.1229 \end{cases}$ ② $\begin{cases} 0.3 Mpa \\ S_2 = S_1 = 7.1229 \end{cases}$ → $h_2 = 2781.2$

$$ 3051.2 + \frac{30^2}{2000} = 2781.2 + \frac{V_e^2}{2000} $$

کار تلف شده (گم شده). (lost work)




در حالت الف اگر پین کشیده شود کاری به اندازهٔ $pdv$ انجام می‌شود (فرآیند برگشت پذیر باشد).

در حالت ب - اگر غشاء پاره شود هیچ کاری صورت نمی‌گیرد.

دو گاز در ابتدا به دلیل شرایط یکسان (دما، حجم، فشار) دارای قابلیت انجام کار یکسان هستند. گاز الف تحت شرایط بسیار مطلوب کل قابلیت $pdv$ را تبدیل به کار می‌کند. گاز ب تحت شرایط نامطلوب کل کار را به هدر می‌دهد.

فرآیندهای واقعی بخشی از قابلیت $pdv$ را تبدیل به کار نموده بخشی را گم می‌کنند.

$$pdv = \delta w + \delta lw$$

داشتیم:

$$Tds = du + pdv \qquad Tds = du + \delta w + \delta lw \rightarrow Tds = \delta Q + \delta lw$$

$$ds = \frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta lw}{T} \qquad \int_1^2 ds = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_1^2 \frac{\delta lw}{T} \qquad S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_1^2 \frac{\delta lw}{T}$$

اگر فرآیند برگشت پذیر باشد $\delta lw = 0$، بنابراین رابطهٔ قبلی برای انتروپی بدست می‌آید.

بطور کلی می‌توان نوشت:

$$\frac{\delta Q}{T} \leq ds$$

که حالت تساوی برای فرآیند برگشت پذیر می‌باشد.

نکته: $\delta lw$ همیشه مثبت است.

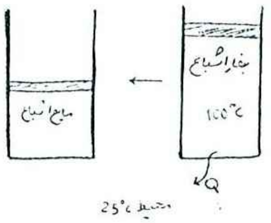
اصل افزایش انتروپی: در یک فرآیند همیشه مجموع تغییر انتروپی سیستم و محیط بزرگتر یا مساوی صفر است.

$$ds_{sys} + ds_{sur} \geq 0$$

به بیانی: تنها فرآیندی امکان وقوع دارد که طی آن انتروپی افزایش یابد.

---

مثال: یک کیلوگرم بخار اشباع آب در یک محیط سرد شده تبدیل به مایع اشباع می‌شود. اصل افزایش انتروپی را برای فرآیند تحقیق کنید:




$$\Delta S_{sys} = (s_2 - s_1)_{sys}\, m = m(S_f - S_g) = 1(-S_{fg})$$

$$= -6.048 \ \mathrm{KJ/{}^{\circ}C}$$

$$S_2 - S_1)_{sur} = \int \frac{\delta Q}{T_{sur}} = \frac{Q}{T_{sur}}$$

$$Q_{sys} = \Delta H \qquad q_{sys} = \Delta h = h_f - h_g = -h_{fg} = -2257$$

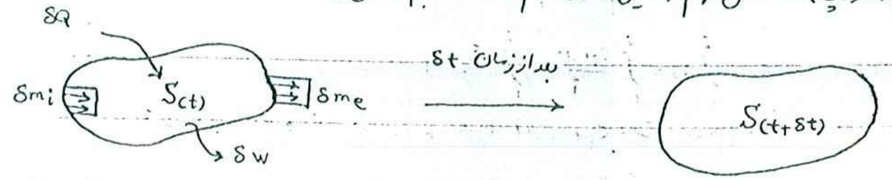
$$q_{sur} = +2257 \qquad S_2 - S_1)_{sur} = \frac{2257}{25 + 273.2} = +7.57$$

$$\Delta S_{sys} + \Delta S_{sur} = +7.57 - 6.048 = 1.522$$

یعنی مثبت است.

ادامهٔ فصل هشتم (انتروپی) - فصل نهم (تحلیل قانون دوم در مورد حجم کنترل).

①




$$S_{(t)} + \delta m_i s_i - \delta m_e s_e + \left(\frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta LW}{T}\right) = S_{(t+\delta t)}$$

عامل های داخلی تغییر انتروپی

$$\delta m_i s_i - \delta m_e s_e + \left(\frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta LW}{T}\right) = S_{(t+\delta t)} - S_{(t)}$$

$$\delta t \to 0 \quad \frac{\delta m_i}{\delta t} s_i - \frac{\delta m_e}{\delta t} s_e + \frac{1}{\delta t}\left(\frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta LW}{T}\right) = \frac{S_{(t+\delta t)} - S_{(t)}}{\delta t}$$

$$\dot{m}_i s_i - \dot{m}_e s_e + \left(\frac{\dot{Q}}{T} + \frac{\dot{LW}}{T}\right) = \frac{dS}{dt}$$

$$\frac{dS}{dt} = \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \left(\frac{\dot{Q}}{T} + \frac{\dot{LW}}{T}\right) \longrightarrow$$ قانون دوم ترمودینامیک برای حجم کنترل

برای فرآیند SSSF :

$$\frac{dS}{dt} = 0 \quad \to \quad \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \left(\frac{\dot{Q}}{T} + \frac{\dot{LW}}{T}\right) = 0$$ ⇐ قانون دوم برای SSSF

برای فرآیند USUF :

رابطهٔ حجم کنترل را در dt ضرب و در بازهٔ زمانی وقوع فرآیند انتگره می‌کنیم.

$$\int_1^2 dS = \int_{t_1}^{t_2} \sum \dot{m}_i s_i dt - \int_{t_1}^{t_2} \sum \dot{m}_e s_e dt + \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\dot{Q}}{T} + \frac{\dot{LW}}{T}\right) dt$$

$$S_2 - S_1 = \sum m_i s_i - \sum m_e s_e + \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\dot{Q}}{T} + \frac{\dot{LW}}{T}\right) dt$$

---

تغییر انتروپی مایع و جامد:

داشتیم : $$T ds = du + p dv$$

چون v برای جامدات و مایعات بسیار کوچک است ($dv \simeq 0$) داریم: $$T ds \simeq du$$

$$ds = \frac{du}{T} = \frac{c\,dT}{T} \qquad \int_1^2 ds = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c\,dT}{T} \qquad s_2 - s_1 = c \ln \frac{T_2}{T_1}$$

---

تغییر انتروپی گاز کامل (ایده‌آل):

$$T ds = du + p dv \to ds = \frac{du}{T} + \frac{p dv}{T}$$

برای گاز کامل داشتیم:

$$Pv = RT \to \frac{P}{T} = \frac{R}{v} \qquad du = C_{v0}\, dT$$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 C_{v0} \frac{dT}{T} + \int_1^2 \frac{R}{v} dv$$

الف) فرض می‌کنیم $C_{v0}$ ثابت باشد ⟵ $$s_2 - s_1 = C_{v0} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

و یا:

$$Tds = dh - v\,dp \rightarrow ds = \frac{dh}{T} - \frac{v}{T}dp \qquad pv = RT \rightarrow \frac{v}{T} = \frac{R}{P}$$

$$dh = c_{p0}\,dT \rightarrow \int_1^2 ds = \int_1^2 \frac{c_{p0}\,dT}{T} - \int_1^2 \frac{R}{P}dp$$

الف) اگر $c_{p0}$ ثابت باشد (فرض می‌کنیم) $\rightarrow s_2 - s_1 = c_{p0} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

ب) می‌توان $c_{p0}$ و $c_{v0}$ را برحسب دما (برحسب کلوین) از جدول آخر کتاب خوانده و در فرمول‌ها قرار داد.

ج) تعریف انتروپی استاندارد:

$$\overset{\circ}{s}_T = \int_{T_0}^{T} \frac{c_p\,dT}{T}$$

$$s_2 - s_1 = \left(\overset{\circ}{s}_{T_2} - \overset{\circ}{s}_{T_1}\right) - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

---

مثال: تغییر انتروپی یک کیلوگرم اکسیژن که از (200kpa , 300°K) به (1500°K , 150kpa) تحول یافته را بدست آورید:

$$s_2 - s_1 = c_{p0} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0.9216 \ln \frac{1500}{300} - 0.25983 \ln \frac{150}{200}$$

از روش الف) $m = 1\,kg \qquad s_2 - s_1 = 1.558 \ \frac{kJ}{kg\,°K}$

$$S_2 - S_1 = m(s_2 - s_1) \qquad S_2 - S_1 = 1.558 \ \frac{kJ}{°K}$$

از روش ب) ...

از روش ج) $\overset{\circ}{\bar{s}}_{300} = 205.322 \ \frac{kJ}{kmole\,°K}$

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \left(\overset{\circ}{\bar{s}}_{T_2} - \overset{\circ}{\bar{s}}_{T_1}\right) - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\overset{\circ}{\bar{s}}_{1500} = 258.078 \ \frac{kJ}{kmole\,°K} \qquad \bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \left(\overset{\circ}{\bar{s}}_{T_2} - \overset{\circ}{\bar{s}}_{T_1}\right) - \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = (258.078 - 205.322) - 8.31434 \ln \frac{150}{200} = 55.148 \ \frac{kJ}{kmol\,°K}$$

$$s_2 - s_1 = \frac{\bar{s}_2 - \bar{s}_1}{M} = \frac{55.148}{32} = 1.72 \ \frac{kJ}{kg\,°K} \qquad S_2 - S_1 = m(s_2 - s_1) = 1.72 \ \frac{kJ}{°K}$$

---

روابط فرآیندهای آیزنتروپیک گاز کامل:

داشتیم:

$$s_2 - s_1 = c_{v0} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

برای فرآیند آیزنتروپیک: $s_2 - s_1 = 0$

$$c_{v0} \ln \frac{T_2}{T_1} = -R \ln \frac{v_2}{v_1} = R \ln \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{R}{c_{v0}} \ln \frac{v_1}{v_2}$$

$$c_{p0} = c_{v0} + R \rightarrow R = c_{p0} - c_{v0}$$

تعریف: $k = \frac{c_{p0}}{c_{v0}}$ نسبت ظرفیتهای گرمایی ویژه.

k یک خاصیت است و در جدول ارائه می‌شود.

$$\frac{R}{c_{v0}} = \frac{c_{p0} - c_{v0}}{c_{v0}} = k - 1$$

داریم: $\ln \frac{T_2}{T_1} = (k-1) \ln \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$$

و یا همچنین: $s_2 - s_1 = 0$ و $s_2 - s_1 = c_{p0} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

$$\ln\frac{T_2}{T_1}=\frac{R}{C_{p0}}\ln\frac{P_2}{P_1} \qquad \frac{R}{C_{p0}}=\frac{C_{p0}-C_{v0}}{C_{p0}}=1-\frac{1}{K}=\frac{k-1}{k}$$

$$\ln\frac{T_2}{T_1}=\frac{k-1}{k}\ln\frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

از ترکیب دو فرمول بدست آمده ، داریم: $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}=\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$

---

از رابطهٔ آخر داریم: $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}}=\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \rightarrow \left(\frac{P_2}{P_1}\right)=\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k$

$$P_1v_1^k=P_2v_2^k \Rightarrow Pv^k=\underset{\text{عدد ثابت}}{C}$$

از روابط استخراج شده برای فرآیندهای آیزنتروپیک ایده می‌گیریم و فرض می‌کنیم فرآیندهای برگشت پذیر دیگر از رابطهٔ کلی $Pv^n=C$ تبعیت می‌کند و n را با آزمایش بدست می‌آوریم. به این فرآیندها پلی تروپیک و به n اندیس پلی تروپیک گویند.

متشابهاً برای فرآیندهای پلی تروپیک داریم (پلی تروپیک بازگشت پذیر گاز ایده‌آل): $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}=\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}$

---

- در فرآیندهای پلی تروپیک:

If $n=0 \Rightarrow$ فرآیند فشار ثابت

If $n=1 \Rightarrow$ فرآیند دما ثابت

If $n=k \Rightarrow$ فرآیند آیزنتروپیک $\qquad k=\frac{c_p}{c_v}$

If $n=\infty \Rightarrow$ فرآیند حجم ثابت

---

مثال 7-8)

① $\begin{cases} P_1=100\,kPa \\ T_1=20^\circ C \end{cases} \xrightarrow[n=1.3]{\text{فرآیند پلی‌تروپیک}} \begin{cases} P_2=500\,kPa \\ T_2=? \end{cases}$

$$W=\int_{V_1}^{V_2}pdv \rightarrow w=\int_{v_1}^{v_2}p\,dv$$

$$pv^{1.3}=C \qquad w=\int_{v_1}^{v_2}C\,v^{-n}dv=$$

$$=C\left.\frac{v^{-n+1}}{-n+1}\right]_{v_1}^{v_2}$$

$$w=\frac{C}{-n+1}\left[v_2^{-n+1}-v_1^{-n+1}\right] \qquad C=P_1v_1^n=P_2v_2^n$$

$$w=\frac{P_1v_1^n}{1-n}\left(v_2^{1-n}-v_1^{1-n}\right)$$

$$w=\frac{1}{1-n}\left[(P_2v_2^n)v_2^{1-n}-P_1v_1^n.v_1^{1-n}\right]=\frac{1}{1-n}\left[P_2v_2-P_1v_1\right]=\frac{P_2v_2-P_1v_1}{1-n}$$

$$\begin{cases} P_1v_1=RT_1 \\ P_2v_2=RT_2 \end{cases} \Rightarrow w=\frac{R(T_2-T_1)}{1-n}$$

از طرفی: $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \rightarrow \frac{T_2}{273.15+20}=\left(\frac{500}{100}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}}$

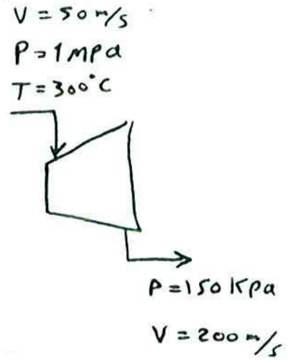
$T_2 = 425°K$ $\quad\quad w = \dfrac{0.2968(425-293.2)}{1-1.3} = -130.4 \ \frac{kJ}{kg}$

قانون اول برای سیستم :

$${}_1q_2 - {}_1w_2 = u_2 - u_1 = C_{v.0}(T_2 - T_1)$$

$${}_1q_2 - (-130.4) = 0.7448\ (425 - 293.15) = -32.2 \ \frac{kJ}{kg}$$

مثال 7.7    برای توربین شکل با فرض فرایند آیزنتروپیک مطلوب است w




① $\begin{cases} P = 1\,MPa \\ T_1 = 300^\circ C \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} S_1 = 7.1229 \\ h_1 = 3051.2 \end{matrix}$

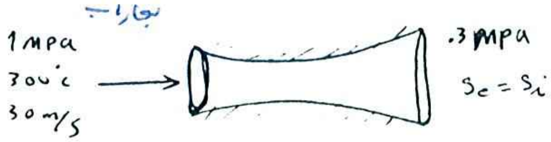
② $\begin{cases} P = 150\,kPa \\ S_2 = S_1 = 7.1229 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} S_f = 1.4336 \\ S_g = 7.2233 \\ h_f = 467.11 \\ h_g = 2693.6 \end{cases}$

$x = \dfrac{s - s_f}{s_g - s_f} = .9827 \qquad h = x h_g + (1-x) h_f = 2655 \ KJ/Kg$

$w = (h_i - h_e) + \dfrac{v_i^2 - v_e^2}{2 \times 1000} = 377.5 \ KJ/Kg$

مثال 7.8    با جریان در شیپوره را برگشت پذیر و آدیاباتیک در نظر گرفته سرعت خروجی را بیابید

بخار آب




① $\begin{cases} 1\,MPa \\ 300^\circ C \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} S_1 = 7.1229 \\ h_1 = 3051.2 \end{matrix}$

② $\begin{cases} .3\,MPa \\ S_2 = S_1 = 7.1229 \end{cases} \rightarrow \left| \begin{matrix} T_2 = 159.6^\circ C \\ h_2 = 2781.2 \end{matrix} \right.$

$h_i + V_i^2/2 = h_e + V_e^2/2 \Rightarrow V_e = 735.5 \ m/s$

## مثال 7.7

نیتروژن در یک فرایند برگشت پذیر از (100kPa 20°C) به 500kPa متراکم می‌شود و در حین تراکم از رابطه $PV^{1.3}=C$ تبعیت می‌کند. کار ورودی فرایند را بدست آورید.

در حالت کلی برای فرایند پلی‌تروپیک رابطه کار را استخراج می‌کنیم

$$Pv^n = C \Rightarrow P = Cv^{-n}$$

$$w = \int_{v_1}^{v_2} P\,dv = \int_{v_1}^{v_2} C v^{-n} = \frac{C}{1-n} v^{1-n} \Big]_{v_1}^{v_2}$$

$$w = \frac{C}{1-n}\left(v_2^{1-n} - v_1^{1-n}\right)$$

$$C = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n$$

$$w = \frac{1}{1-n}\left[P_2 v_2^n \left(v_2^{1-n}\right) - P_1 v_1^n \left(v_2^{1-n}\right)\right]$$

$$w = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} = \frac{R(T_2 - T_1)}{1-n}$$

برای این مسئله

$$n = 1.3$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_2 = 425\ K$$

$$w = -130.4\ kJ/kg$$

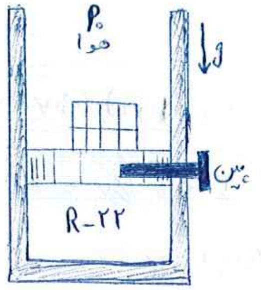
اگر فرایند پلی‌تروپیک دما ثابت باشد $n=1$ رابطه کار بدست آمده قابل استفاده نیست

$$w = \int_{v_1}^{v_2} P\,dv = \int_{v_1}^{v_2} C v^{-1} dv = C \ln v \Big]_{v_1}^{v_2} = C \ln\frac{v_2}{v_1} = P_1 v_1 \ln\frac{v_2}{v_1} = RT_1 \ln\frac{v_2}{v_1}$$

$$Pv = C \Rightarrow P_1 v_1 = P_2 v_2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{P_1}{P_2} \Rightarrow w = RT_1 \ln\frac{P_1}{P_2}$$

مثال :

مسأله ۴-۱۰۶: یک سیلندر عمودی (شکل م ۴-۱۰۶) دارای پیستونی به جرم ۶۱٫۱۸ kg است که توسط پین قفل شده است. در این حالت ۱۰ L مبرد R-22 در ۱۰°C و با کیفیت ۹۰٪ در سیلندر قرار دارد. فشار اتمسفر ۱۰۰ kPa، و مساحت مقطع عرضی سیلندر ۰٫۰۰۶ m² است. پین برداشته می شود و پیستون حرکت می کند و سرانجام متوقف می شود. در این حالت دمای مبرد ۱۰°C است. فشار نهایی، حجم نهایی و کار انجام شده توسط مبرد را بیابید.




حالت (۱)
$$\begin{cases} T_1 = 10^\circ C \\ x = 90\% \\ V_1 = 10\,L = 0.01\,m^3 \end{cases} \xrightarrow{\text{جدول (ب-۴-۱)}} \begin{cases} P_1 = 680.7\ kPa \\ v_f = 0.0008\ m^3/kg \\ v_{fg} = 0.03391\ m^3/kg \end{cases}$$

$$v_1 = v_f + x v_{fg} \longrightarrow v_1 = 0.0008 + 0.9\,(0.03391) = 0.031319\ m^3/kg$$

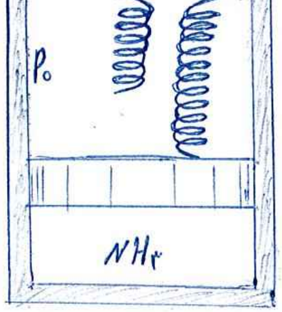
$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.01}{0.031319} = 0.3193\ kg \qquad P = P_0 + \frac{m_p g}{A} = 100 + \frac{61.18 \times 9.81}{1000 \times 0.006} = 200.0293\ kPa$$

حالت (۲)
$$\begin{cases} T_2 = 10^\circ C \\ P_2 = P = 200.0293\ kPa \end{cases} \quad \text{جدول (ب-۴-۲)} \Longrightarrow v_2 \cong 0.13129\ m^3/kg$$

$$V_2 = m v_2 = 0.3193 \times 0.13129 = 0.0419\ m^3 \qquad W = P(V_2 - V_1) = 200.0293\,(0.0419 - 0.01) = 6.385\ kJ$$

---

مسأله ۴-۱۱۵: دو فنر با ثابت یکسان روی سیستم سیلندر پیستونی قرار دارند. جرم پیستون ناچیز و فشار هوای بیرون ۱۰۰ kPa است. در حالتی که پیستون در کف سیلندر است، فنرها در حالت آزادند. وقتی پیستون با فنر دوم تماس می گیرد، حجم سیلندر ۲ m³ است. سیلندر حاوی آمونیاک با دمای اولیه ۲°C-، کیفیت x=0.13 و حجم V=1 m³ است. سیستم تا فشار نهایی ۱۲۰۰ kPa گرم می شود. وقتی پیستون با فنر دوم تماس می گیرد، فشار چقدر است؟ دمای نهایی و کار کل انجام شده توسط آمونیاک را بیابید.




$$\begin{cases} T = -2^\circ C \\ x = 0.13 \\ V_1 = 1\,m^3 \end{cases} \xrightarrow{\text{جدول (ب-۲-۱)}} \begin{cases} \text{درون یابی} \quad P = 399.72\ kPa \\ \text{درون یابی} \quad v_f = 0.0015546\ m^3/kg \\ \text{درون یابی} \quad v_{fg} = 0.31055\ m^3/kg \end{cases}$$

$$v_1 = v_f + x v_{fg} = 0.0015546 + (0.13)(0.31055) = 0.041931\ m^3/kg$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = 23.8486\ kg$$

$$P = c_1 + c_2 V \qquad \begin{cases} V = 0 \\ P = P_{atm} \end{cases} \text{وقتی پیستون کف سیلندر است} \Longrightarrow c_1 = P_{atm} = 100\ kPa$$

در ابتدا
$$\begin{cases} V_1 = 1\ m^3 \\ P_1 = 399.72\ kPa \end{cases} \Longrightarrow P = P_{atm} + c_2 V \Longrightarrow c_2 = 299.72 \qquad P = 100 + 299.72\,V$$

ادامه پشت صفحه

در هنگام تماس با فنر دوم $\Longrightarrow$ $P_2 =$ ۱۰۰ + ۲۹۹,۷۲ (۰/۲) = ۱۵۹,۹۴۴ KPa

(فشار نهایی) = ۱۲۰۰ KPa $\Longrightarrow$ $P_3 = C_1 + C_2 V$ $\Longrightarrow$ $V_3 =$ ۳,۶۷۰۰۹۲ $\qquad$ $v_3 = \frac{V_3}{m} =$ ۰/۱۵۳۸۹۱

$\begin{cases} P_3 = \text{۱۲۰۰ KPa} \\ v_3 = \text{۰/۱۵۳۸۹۱} \end{cases}$ (جدول ا ب-۲-۳) $\xrightarrow{\text{میانیابی}}$ T = ۱۲۲,۵۱۸۷

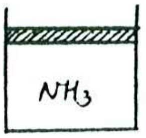
$W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV + \int_{V_2}^{V_3} P\,dV = \int_1^2$ ۱۰۰ + ۲۹۹,۷۲ V + ~~[illegible]~~ $\frac{1}{2}(P_2 + P_3)(V_3 - V_2)$ = ۵۴۹,۵۸ + ۱۱۳۵,۶۱۵۷۹۷ ~~[illegible]~~

= ۱۶۸۵,۱۹۵۷۹۷

مثال (7-21) ص 243 :

یک سیلندر و پیستون به حجم $1.5\,m^3$ حاوی آمونیاک در شرایط $200\,kPa$ و $20°C$ است. اکنون آمونیاک را متراکم می کنیم تا درجه حرارت آن به $40°C$ برسد. اگر در طی این فرآیند مقدار کار ورودی $750\,kJ$ و حرارت دفع شده به محیط $1500\,kJ$ و درجه حرارت محیط $20°C$ باشد: آیا انجام این فرآیند ممکن است؟

$T_0 = 20°C$




$\begin{cases} P = 200\,kPa \\ T = 20°C \\ V = 1.5\,m^3 \end{cases} \xrightarrow[\text{متراکم می شود}]{Q = -1500\,kJ,\; W = -750\,kJ} \begin{cases} 40°C \end{cases}$

$m = \dfrac{V}{v_1} \Rightarrow$

① $\begin{cases} v_1 = 0.7001 \\ s_1 = 5.9342 \\ u_1 = h_1 - P v_1 = 1510.9 - 200 \times 0.7001 \\ u_1 = 1370.88 \end{cases}$

$m = \dfrac{1.5}{0.7001} = 2.142\,kg$

${}_1Q_2 - {}_1W_2 = m(u_2 - u_1) \Rightarrow$

$-1500 - (-750) = 2.142(u_2 - 1370.88)$

$2.142\,u_2 = 2187.18 \Rightarrow \underline{u_2 = 1021.09\ kJ/kg}$

② $\begin{cases} T = 40°C \\ u_2 = 1021.09 \\ u_f = h_f - P v_f = 369.017 \\ u_g = h_g - P v_g = 1342.72 \\ s_f = 1.3591 \\ s_g = 4.874 \end{cases}$

$x = \dfrac{u_2 - u_f}{u_g - u_f} = 0.66988$

$s_2 = s_f + x\, s_{fg} \Rightarrow$

$s_2 = 3.7129\ kJ/kg\cdot K$

$\Delta S_{sys} = m(s_2 - s_1)$

$= 2.142(3.7129 - 5.9342)$

$= -4.7235$

$\Delta S_{net} = \Delta S_{sys} + \Delta S_{sur}$ &

$\Delta S_{sur} = \dfrac{Q}{T_0} = \dfrac{1500}{293.2} = 5.1159$

$\boxed{\Delta S_{net} = 0.3924}$

فرآیند ممکن است.

---

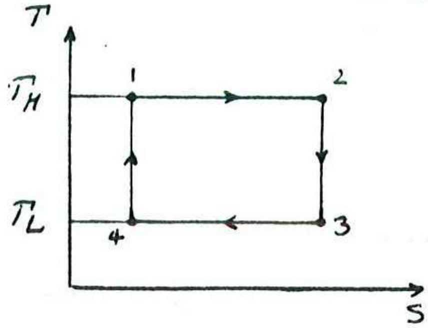
مسئله (7-29) ص 244 :

یک موتور حرارتی که در سیکل کارنو کار می کند را در نظر بگیرید. بعنوان سیال فعال از 1kg هوا در داخل سیلندر و پیستون استفاده شده است. این موتور بین دو منبع حرارتی با درجه حرارتهای $1000\,K$ و

... K 300 کار می‌کند. در ابتدای فرآیند افزایش حرارت، فشار 1 MPa است و در طی فرآیند مقدار حجم سه برابر می‌شود. هر یک از چهار فرآیند این سیکل را تجزیه و تحلیل کنید و مقادیر زیر را بدست آورید:

الف) فشار، حجم و درجه حرارت هر نقطه.

ب) کار انجام شده و انتقال حرارت برای هر فرآیند




$T_H = 1000\,^\circ K$ , $T_L = 300\,^\circ K$ , $v_2 = 3v_1$

هوا $k = 1.4$ , $P_1 = 1\,MPa$

① $\begin{cases} P_1 = 1MPa = 1000\ kPa \\ T_1 = 1000\,^\circ K \\ v_1 = \dfrac{RT_1}{P_1} = \dfrac{0.287 \times 1000}{1000} = 0.287\ m^3/kg \end{cases}$

② $\begin{cases} T_2 = 1000\,^\circ K \\ v_2 = 3v_1 = 3 \times 0.287 = 0.861\ m^3/kg \\ P_2 = \dfrac{RT_2}{v_2} = \dfrac{0.287 \times 1000}{0.861} = 333.33\ kPa \end{cases}$

③ $\begin{cases} T_3 = 300\,^\circ K \\ \dfrac{T_3}{T_2} = \left(\dfrac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow P_3 = P_2\left(\dfrac{T_3}{T_2}\right)^{\frac{k}{k-1}} = 4.9295\ kPa \\ v_3 = \dfrac{RT_3}{P_3} = \dfrac{0.287 \times 300}{4.9295} = 17.466\ m^3/kg \end{cases}$

④ $\begin{cases} T_4 = 300\,^\circ K \\ P_4 = P_1\left(\dfrac{T_4}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = 14.7885\ kPa \\ v_4 = \dfrac{RT_4}{P_4} = \dfrac{0.287 \times 300}{14.7885} = 5.822\ m^3/kg \end{cases}$

$_1Q_2 - {_1W_2} = m(u_2 - u_1) = mC_v(T_2 - T_1)$ [= 0]

$_1Q_2 = {_1W_2}$ & $_1Q_2 = T_1(s_2 - s_1)$

$_1Q_2 = T_1\left[c_p \ln\dfrac{T_2}{T_1} - R\ln\dfrac{P_2}{P_1}\right]$

$_1Q_2 = 1000\left[1.0035 \ln 1 - 0.287 \ln\dfrac{333.3}{1000}\right]$

$\boxed{_1Q_2 = -315.3\ kj}$

چون آدیاباتیک و بازگشت پذیر

$_2Q_3 - {_2W_3} = m(u_3 - u_2)$ [$_2Q_3 = 0$]

$= mC_v(T_3 - T_2)$

$= 1 \times 0.7165(300 - 1000)$

$\boxed{_2W_3 = 501.55\ kj}$

$_3Q_4 - {_3W_4} = m(u_4 - u_3)$

$= mC_v(T_2 - T_1)$ [= 0]

$_3Q_4 = {_3W_4}$ , $_3Q_4 = T_3(s_4 - s_3)$

$_3Q_4 = T_3\left[C_p \ln\dfrac{T_4}{T_3} - R\ln\dfrac{P_4}{P_3}\right] = 300\left[-0.287 \times \ln\left(\dfrac{14.7885}{4.9295}\right)\right]$

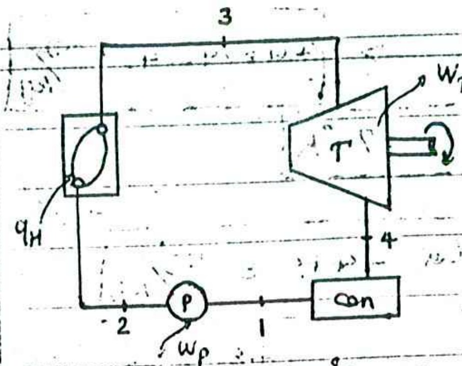
$\boxed{_3Q_4 = -94.59\ kj}$

چون آدیاباتیک و برگشت پذیر است

$_4Q_1 - {_4W_1} = m(u_1 - u_4) = mC_v(-T_4 + T_1)$ [$_4Q_1 = 0$]

$-{_4W_1} = 1 \times 0.7165(-300 + 1000) \Rightarrow \boxed{_4W_1 = -501.55\ kj}$

① در شکل مقابل سیکل یک نیروگاه بخار و شرایط ترمودینامیکی نقاط مختلف آن نشان داده شده است. مطلوب است: انتالپی نقاط مختلف سیکل و راندمان حرارتی سیکل: (9 از 14) (20)




① 140 kPa ، 100°C ⇒ مایع سرد (ص 619) $\boxed{h_1 = h_f = 457.994 \ \frac{kJ}{kg}}$

② 7.5 MPa ، 120°C ⇒ مایع سرد (با یابی ص 629) $\boxed{h_2 = 508.865 \ kJ/kg}$

③ 7 MPa ، 500°C ⇒ مافوق گرم (ص 624) $\boxed{h_3 = 3410.3 \ kJ/kg}$

④ 150 kPa ، $x = 0.8$ ⇒ بخار اشباع (ص 619 $h_4 = h_f + x h_{fg}$) $\boxed{h_4 = 2248.31 \ kJ/kg}$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{|w_T| - |w_P|}{q_H} \Rightarrow$$

$w_T = h_3 - h_4 = 1161.99 \ kJ/kg$

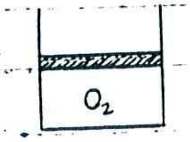
$w_P = h_1 - h_2 = -50.871 \ kJ/kg$

$q_H = h_3 - h_2 = 2901.435 \ kJ/kg$

$$\eta_{th} = \frac{1161.99 - 50.871}{2901.435} = \%38.29$$

---

② سیلندر و پیستونی حاوی 2kg اکسیژن در (150 kPa و 350°C) می‌باشد. این گاز بصورت پلی‌تروپیک $PV^{1.2} = C$ تا فشار $P_2 = 900$ kPa متراکم می‌شود. مطلوب است، انتقال حرارت فرآیند و تغییر آنتروپی:




$m = 2$ kg

$P_1 = 150$ kPa

$T_1 = 350$ °C

$PV^{1.2} = C$

$P_2 = 900$ kPa

$C_v = 0.6618 \ kJ/kg \cdot K$

$R = 0.25983 \ kJ/kg \cdot K$

$$\partial Q = \partial u + \partial W = C_v dT + p dV$$

$$C_v = \frac{\partial u}{\partial T}\Big)_v \ , \quad P_1 V_1^{1.2} = P_2 V_2^{1.2} \Rightarrow V_2 = \sqrt[1.2]{\frac{P_1}{P_2} \times V_1^{1.2}} \Rightarrow$$

$$V_2 = \sqrt[1.2]{\frac{150}{900} \times 2.159^{1.2}} \Rightarrow \boxed{V_2 = 0.485 \ m^3}$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{2 \times 0.25983 \times 623.2}{150} \Rightarrow \boxed{V_1 = 2.159 \ m^3}$$

$$dw = p dV \Rightarrow w = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} \Rightarrow$$ کار بر سیستم انجام شده

$$w = \frac{900 \times 0.485 - 150 \times 2.159}{1 - 1.2} = -563.25 \ kJ/kg$$

$$dU = C_V\,dT = 0.6618\times(839.97-623.2) \Rightarrow \boxed{dU = 143.45\ \tfrac{kJ}{kg}}$$

$$T_2 = \frac{P_2V_2}{mR} = \frac{900\times 0.485}{2\times 0.25983} \Rightarrow \boxed{T_2 = 839.97\ ^\circ K}$$

$$dQ = dU + dW = 143.45 - 563.25 \Rightarrow \boxed{dQ = -419.8\ \tfrac{kJ}{kg}}$$

الف) ازجدول (A.8)

$$S_2 - S_1 = C_{V_0}\,Ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R\,Ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \Rightarrow$$

$$S_2 - S_1 = 0.6618\,Ln\left(\frac{839.97}{623.2}\right) + 0.25983\,Ln\left(\frac{0.485}{2.159}\right) \Rightarrow$$

---

$$s_2 - s_1 = -0.19\ \tfrac{kJ}{kg\,^\circ k} \Rightarrow S_2 - S_1 = m(s_2 - s_1) = -0.38\ \tfrac{kJ}{kg\,^\circ k}$$

ب) ازجدول (A.11) $M = 31.999$ $O_2$ مولکول

$$T_1 = 623.2 \Rightarrow \bar{s}_1 = 227.572 \Rightarrow s_1^\circ = 7.111\ \tfrac{kJ}{kg\,^\circ k}$$

$$T_2 = 839.97 \Rightarrow \bar{s}_2 = 237.527 \Rightarrow s_2^\circ = 7.422\ \tfrac{kJ}{kg\,^\circ k}$$

$$\Delta S = s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R\,Ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 7.422 - 7.111 - 0.25983\,Ln\left(\frac{900}{150}\right) \Rightarrow$$

$$s_2 - s_1 = -0.15\ \tfrac{kJ}{kg\,^\circ k} \Rightarrow S_2 - S_1 = m(s_2 - s_1) = -0.31\ \tfrac{kJ}{kg\,^\circ k}$$

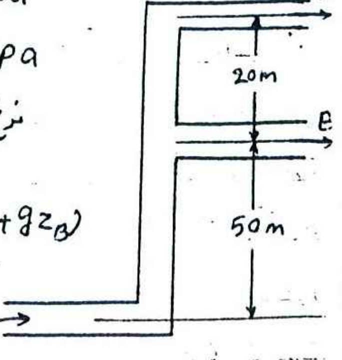
---

③ یک کارخانهٔ بخار آب تحت شرایط ($0.5\ MPa$ ، $400\ ^\circ c$ ، $V = 4\ m/s$) مطابق شکل وارد لولهٔ C شده و در نقطهٔ A و B به مصرف می رسد طول لوله ها مطابق با مقادیر ثبت شده روی شکل برحسب متر و شرایط در نقطهٔ مصرف بصورت زیر می باشد:

نقطهٔ A : قطر لوله $= 8\ Cm$ ، $V = 3\ m/s$ ، $250\ ^\circ c$ ، $0.3\ MPa$

نقطهٔ B : قطر لوله $= 10\ cm$ ، $V = 2.5\ m/s$ ، $250\ ^\circ C$ ، $0.4\ MPa$

نرخ اتلاف حرارت از لوله را بدست آورید.




$$\dot{Q} + \dot{m}_c\left(h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c\right) = \dot{m}_A\left(h_A + \frac{V_A^2}{2} + gz_A\right) + \dot{m}_B\left(h_B + \frac{V_B^2}{2} + gz_B\right)$$

$$\dot{m}_c = \dot{m}_A + \dot{m}_B \quad , \quad \dot{m}_A = \frac{V_A \cdot A_A}{v_A} \quad , \quad \dot{m}_B = \frac{V_B \cdot A_B}{v_B}$$

$$v_A = 0.7964\ \tfrac{m^3}{kg} \ , \ h_A = 2967.6\ \tfrac{kJ}{kg} \ , \ A_A = 5.026\times 10^{-3}\ m^2$$

$$v_B = 0.5951\ \tfrac{m^3}{kg} \ , \ h_B = 2964.2\ \tfrac{kJ}{kg} \ , \ A_B = 7.853\times 10^{-3}\ m^2$$

$\dot{m}_A = \dfrac{3\times 5.026\times 10^{-3}}{0.7964} = 0.019\ kg/s$ , $\dot{m}_B = \dfrac{2.5\times 7.853\times 10^{-3}}{0.5951} = 0.033\ kg/s$

(ص 623) $v_c = 0.6173\ m^3/kg$ , $h_c = 3271.9\ kJ/kg$ , $\dot{m}_c = \dot{m}_A + \dot{m}_B = 0.052\ kg/s$

$$\dot{Q} + 0.052\left(3271.9 + \frac{4^2}{2\times 10^3}\right) = 0.019\left(2967.6 + \frac{3^2}{2\times 10^3} + \frac{9.81\times 70}{10^3}\right) + 0.033\left(2964.2 + \frac{2.5^2}{2\times 10^3} + \frac{9.81\times 50}{10^3}\right)$$

$\boxed{\dot{Q} = -15.90\ kJ}$ ⟶ گرما می‌دهد

---

④ یک بالنی با حجم $V_0 = 20\ m^3$ با هلیوم در $20^\circ C$ و $P_0 = 100\ kPa$ پر شده است. در این حالت در دیواره‌های بالن کششی وجود ندارد. هلیوم درون بالن با یک بخاری برقی گرم می‌شود. در حالت نهایی فشار و دما $150\ kPa$ و $400^\circ C$ می‌باشد. اگر کشش در دیواره‌ها به نحوی عمل نماید که فشار داخل بالن از رابطه $P = P_0 + C(V - V_0)^2$ تبعیت نماید، مطلوب است: الف) مقدار کار انجام شده توسط گاز هلیوم. ب) درصدی از کار که صرف کشیدن دیواره‌ها شده است. ج) انرژی الکتریکی (گرمای داده شده) اعمالی.

$V_0 = 20\ m^3$

$P_1 = 100\ kPa$ $\quad m = \dfrac{P_1 V_1}{R T_1} = \dfrac{100\times 20}{2.07703\times 293.2} = 3.2841\ kg$

$T_1 = 20^\circ C$

$P_2 = 150\ kPa$ $\quad V_2 = \dfrac{m R T_2}{P_2} = \dfrac{3.2841\times 2.07703\times 673.2}{150} = 30.61\ m^3$

$T_2 = 400^\circ C$

$R = 2.07703\ kJ/kg\,K$ $\quad P_2 = P_1 + C(V_2 - V_1)^2 \Rightarrow C = \dfrac{P_2 - P_1}{(V_2 - V_1)^2} \Rightarrow$

$C = \dfrac{150 - 100}{(30.61 - 20)^2} = 0.444$ , $P = 100 + 0.444(V - 20)^2$

کل $W = \int p\,dV = \int_{20}^{30.61} (100 + 0.444(V-20)^2)\,dV \Rightarrow$

$W = \left[100V + 0.444\dfrac{V^3}{3} - 40\times 0.444\dfrac{V^2}{2} + 400\times 0.444 V\right]_{20}^{30.61} \Rightarrow$

$W = 1237.77\ kJ/kg \Rightarrow \dot{W} = W\times m \Rightarrow \boxed{\dot{W} = 4067.8\ kJ}$

کشش $W = W_{(کل)} - W_{(جو)} = 1237.77 - P_0(V_2 - V_1) \Rightarrow$

$W = 1237.77 - 100(30.61 - 20) = 176.77 \ \text{kj/kg} \Rightarrow$

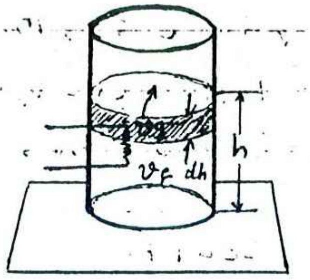
کشش $\dot{W} = m \cdot W \Rightarrow$ $\boxed{\dot{W} = 580.937 \ \text{kj}}$

$dQ = du + dW = mC_v\,dT + dW = 3.2864 \times 3.1156(673.2 - 293.2) + 4067.8$

$\boxed{dQ = 7958.66 \ \text{kj}}$

---

۵) داخل ظرف استوانه‌ای روباز به شعاع قاعده 20 cm واقع در یک اتاق، هیتر الکتریکی با توان 3KW نصب شده است. سرعت سقوط ارتفاع آب را پس از جوش آمدن بدست آورید.




$\partial V = A\,dh \quad , \quad \partial m = \dfrac{\partial V}{v_f} \Rightarrow \partial m = \dfrac{A\,dh}{v_f}$

$\dfrac{\partial}{\partial t}(\partial Q) = (\partial u + \partial w)\dfrac{\partial}{\partial t}\partial m$

(توان $P$) ، $u_g - u_f$ ، $P(v_g - v_f)$

$P = 100 \ \text{KPa}$ $\quad h_f = 417.46 \ \text{kj/kg}$ $\quad P = \dfrac{\partial m}{\partial t}(u_g - u_f + P(v_g - v_f))$

$r = 20 \ \text{cm}$ $\quad h_g = 2675.5 \ \text{kj/kg}$

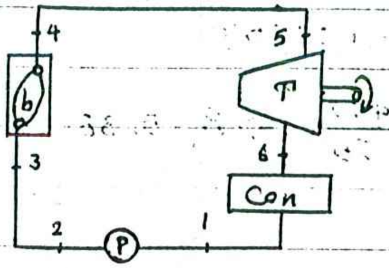
$P = 3 \ \text{KW}$ $\quad v_f = 0.001043 \ \text{m}^3/\text{kg}$ $\quad P = \dfrac{\partial m}{\partial t}(h_g - h_f) \Rightarrow$

$\dfrac{\partial h}{\partial t} = ?$

$3 = \dfrac{A}{v_f}(h_g - h_f)\dfrac{\partial h}{\partial t} \Rightarrow 3 = \dfrac{0.1256}{0.001043}(2675.5 - 417.46)\dfrac{\partial h}{\partial t}$

$\boxed{\dfrac{\partial h}{\partial t} = 1.1 \times 10^{-5} \ \text{m/s}}$

۱) برای نیروگاه ارائه شده مطلوب است توان توربین، توان پمپ، نرخ انتقال حرارت بویلر و راندمان حرارتی:




$\dot{m} = 15 \ kg/s$

① $T_1 = 40°c, \ P_1 = 10 \ kPa \xrightarrow{615 \text{ ص}} h_1 = 167.57 \ kJ/kg = h_f$

② $T_2 = 40°c, \ P_2 = 5.5 \ MPa \xrightarrow{629 \text{ ص}} h_2 = 172.41 \ kJ/kg$

③ $T_3 = 40°c, \ P_3 = 5 \ kPa \xrightarrow{629 \text{ ص}} h_3 = 171.97 \ kJ/kg$

④ $T_4 = 400°c, \ P_4 = 4 \ MPa \xrightarrow{624 \text{ ص}} h_4 = 3213.6 \ kJ/kg$

⑤ $T_5 = 380°c, \ P_5 = 3.8 \ MPa \xrightarrow{625 \text{ ص}} h_5 = 3169.1 \ kJ/kg$

⑥ $T_6 = 100°c, \ P_6 = 15 \ kPa \xrightarrow{621 \text{ ص}} h_6 = 2686.875 \ kJ/kg$

$$\dot{W}_T = \dot{m}(h_5 - h_6) = 15(3169.1 - 2686.875) = 7233.375 \ kW$$

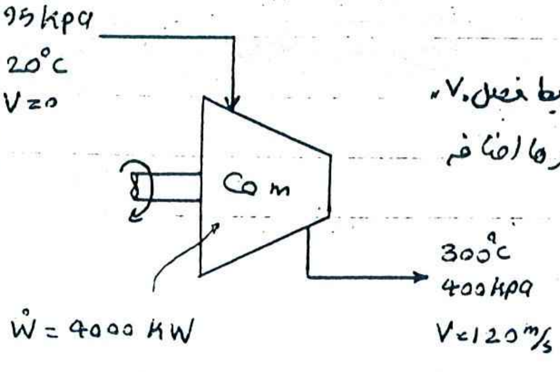
$$\dot{W}_P = \dot{m}(h_2 - h_1) = 15(172.41 - 167.57) = 72.615 \ kW$$

$$\dot{q}_H = \dot{m}(h_4 - h_3) = 15(3213.6 - 171.97) = 45624.45 \ kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_P}{\dot{q}_H} = \frac{7233.375 - 72.615}{45624.45} = \%15.7$$

---

② برای کمپرسور شکل مقابل دبی جرمی را بیابید: (10,2)




* در این مسئله دمای محیط داده شده و اگر ما دار با استفاده از روابط فصل ۷ می‌بایستی حل می‌شد. حال که نداد پس در معلومات مسئله فشارها اضافه هستند و خود دمای آنها را حذف می‌کنیم:

$$\dot{m}h_1 + \dot{W} = \dot{m}h_2 + \dot{m}\frac{V_2^2}{2} \Rightarrow$$

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{m}\frac{V_2^2}{2} \Rightarrow \dot{W} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) + \dot{m}\frac{V_2^2}{2} \Rightarrow$$

$$\dot{W} = \dot{m}\left(C_p(T_2 - T_1) + \frac{V_2^2}{2}\right) \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{W}}{C_p(T_2 - T_1) + \frac{V_2^2}{2}} \Rightarrow$$

$$\dot{m} = \frac{4000}{1.0035(300-20) + \frac{120^2}{2 \times 10^3}} \Rightarrow \boxed{\dot{m} = 13.88 \ kg/s}$$

روش دیگر حل :

$S_1 = S_2$

با استفاده از جدول ص 653

$T_1 = 20°c$

$P_1 = 95\ kPa \Rightarrow h_1 = 293.176\ kJ/kg \Rightarrow Pr_1 = 1.27757$

$P_2 = 400\ kPa \quad Pr_2 = Pr_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 1.27757 \times \frac{400}{95} \Rightarrow Pr_2 = 5.38$

$h_2 = 442.7\ kJ/kg$

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{m}\frac{V_2^2}{2} \Rightarrow \dot{W} = \dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2}{2}\right) \Rightarrow$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_2 - h_1 + \frac{V_2^2}{2}} = \frac{4000}{442.7 - 293.176 + \frac{120^2}{2\times10^3}}$$

$$\boxed{\dot{m} = 25.52\ kg/s}$$

---

③ یک سیلندر پیستونی حاوی فریون 12 در شرایط 70°c , 150 kPa می‌باشد. پیستون طی یک فرآیند آیزنتروپیک فریون را متراکم نموده تا زمانیکه حالت بخار اشباع ایجاد شود، مطلوب است. فشار و حجم مخصوص نهایی و انتقال حرارت.

$\begin{cases} P_1 = 150\ kPa \\ T_1 = 70°c \end{cases}$ ص 641 $\Rightarrow h_1 = 234.789\ kJ/kg \quad , S_1 = 0.898\ kJ/kg\,°k$

آیزنتروپیک $\Rightarrow S_1 = S_2 = S_g \longrightarrow h_g = h_2 \longrightarrow P_2 \longrightarrow v_2 = v_g$

$Q = U_2 - U_1 + p\,dv \quad , \quad Q = h_2 - h_1 \quad , \quad dv = v_2 - v_1$

1

مثال 5-3 مرلفین

مسئله: مخزنی حاوی بخار 200°c تحت فشار 700 kpa است اگر مخزن سرد شود در چه زمانی تقطیر شروع می‌شود و میزان انتقال حرارت تا این نقطه چقدر خواهد بود ب/ تا چه زمانی باید سرد شدن ادامه یابد تا کیفیت بخار داخل مخزن برابر 50% شود

$v_1 = .2999 \ m^3/kg$

$v_2 = v_1 = .2999 \rightarrow v_g = .2999 \xrightarrow[\text{اشباع}]{\text{جدول}} T = 161.1 c$

$P = 635.9 \ kpa$

ب)

$v_3 = v_1 = .2999$

$v_3 = x v_g + (1-x) v_f$

آزمون و خطا:

$0.2999 = 0.5 v_g + 0.5 v_f$

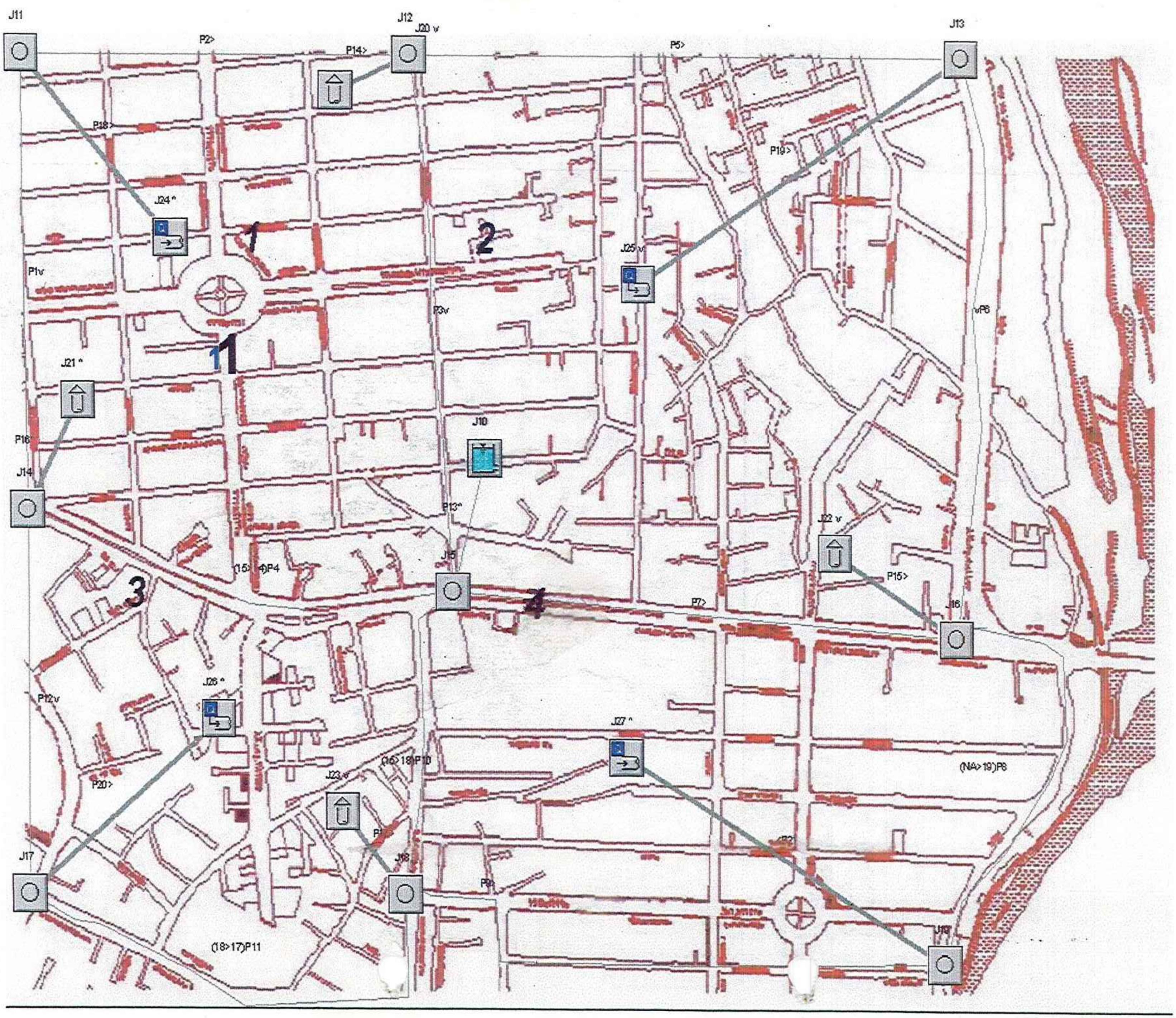
باید دماهایی را بشود $v_f$ و $v_g$ از جدول اشباع بدست آید و رابطه فوق کنترل شود

برای دمای اولیه حدس می‌توان زد

$v_3 \simeq .5 v_{g3}$

چون $v_f$ خیلی کوچک است (در قیاس با $v_g$)

جواب ب: $T_3 = 134.3$ $P_3 = 301.3$


J11
J12
J20 v
J13
P2>
P14>
P5>
P18>
P19>
J24 ^
1
2
J25 v
P1v
P3v
vP6
1
J21 ^
J10
P16^
J14
P13^
J22 v
3
(15>14)P4
J15
4
P15>
P7>
J16
J26 ^
P12v
J27 ^
(15>18)P10
(NA>19)P8
J23 v
P20>
J17
J18
J19
P9>
(18>17)P11

161

Some power and refrigration cycles

# فصل 9

## برخی سیکلهای توانی و تبرید

سیکلهائی که در این فصل بررسی میشوند می‌توان به دو دسته تقسیم نمود

سیکل ترمودینامیکی : سیکلی که سیال عامل پس از چند تحول مختلف به حالت اولیه برمی‌گردد به عبارت دیگر در کلیه سیکلهای تکراری همان مولکولهای اولیه سیال شرکت دارند که به آن سیکل بسته و یا به اختصار سیکل نیز گویند

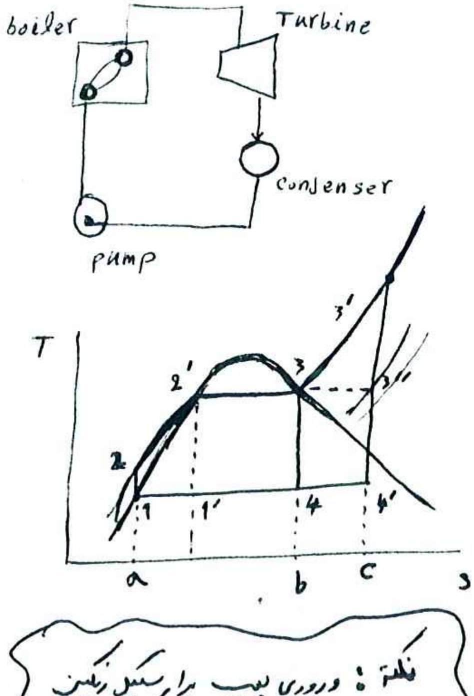
سیکل مکانیکی : سیکلهائی که شرائط سیال در هر نقطه از سیکل عیناً در سیکل بعد هم تکرار می‌شود با این تفاوت که مولکولهای سیال همان مولکولهای سیکل قبل نیستند بلکه مولکولهای جدید جایگزین مولکولهای قبلی می‌شوند که به آن سیکل باز نیز می‌گویند

سیکلهائی که معرفی می‌شوند مدلی از سیکلهائی واقعیند که اگرچه از نظر کمی با سیکلهای واقعی متفاوت خواهند بود روند تغییرات پارامترها در سیکلهای واقعی می‌توانند پیش‌بینی کنند

مثلاً راندمان سیکل اتو با افزایش نسبت تراکم افزایش می‌یابد و این روند در مورد سیکلهای موتورهای واقعی جرقه‌ای نیز صادق است درحالیکه مقدار راندمان که به ازاء نسبت تراکم خاص بدست می‌آید برای موتورهای واقعی همان مقدار نخواهد بود

## 9.1 سیکل رانکین the Rankine cycle

سیکل ایده‌آل برای نیروگاههای بخار سیکل رانکین است که از چهار فرآیند زیر تشکیل شده




- $1 \to 2$ افزایش فشار آیزنتروپیک در پمپ
- $2 \to 3$ انتقال حرارت فشار ثابت در بویلر
- $3 \to 4$ انبساط آیزنتروپیک در توربین (انبساط بخار)
- $4 \to 1$ انتقال حرارت فشار ثابت در کندانسور

در سیکل رانکین می‌توان سیال عامل را به حالت سوپرهیت نیز درآورد مثلاً سیکل (1-2-3'-4'-1)

دقت 4 (با صرف نظر از انرژی پتانسیل و جنبشی) می‌توان انتقال حرارت و کار را روی دیاگرام T-S نشان داد

سطح (a-2-2'-3-b-a) انتقال حرارت بویلر است

سطح (a-1-4-b-a) ، کندانسور است

و تفاضل اینها یعنی (1-2-2'-3-4-1) کار انجام شده در سیکل

> نکته : ورودی پمپ برای سیکل رانکین همیشه مایع اشباع در نظر گرفته می‌شود که در حل مسائل مفید واقع می‌شود

راندمان حرارتی بصورت زیر تعریف می‌شود

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H}$$

راندمان سیکل رانکین را می‌توان بصورت تابعی از دمای متوسط فرایند گرماگیری و دمای متوسط گرمادهی می‌باشد افزایش دمای متوسط فرایند گرماگیری و کاهش دمای متوسط گرمادهی موجب افزایش راندمان می‌شود

- بدیهی است راندمان سیکل رانکین در مقایسه با سیکل کارنو که در همان ماکزیمم و مینیمم دما کار می‌کند کمتر است زیرا در سیکل کارنو متوسط دما همان دمای ماکزیمم است ولی در سیکل رانکین متوسط دما از دمای ماکزیمم کمتر است

- سئوال مطرح می‌شود که چرا سیکل کارنو (1'-2'-3-4'-1') بعنوان سیکل ایده‌آل در نظر گرفته نشده است

جواب: به دو دلیل که ذیلاً مطرح می‌شود سیکلهای واقعی از سیکل کارنو تفاوت زیادی دارند

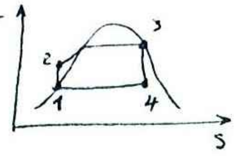
الف - ساختن پمپی که مخلوط بخار و مایع را پمپاژ کند از نظر فنی ممکن نیست یا بسیار مشکل و بصرفه نیست مثلاً با توجه شکل T-s پمپ باید مخلوط بخار و آب را در '1 گرفته و مایع اشباع در '2 را تحویل دهد که ساختن چنین وسیله‌ای مقدور نیست

ب - فرایندی که طی آن بخار را به حالت سوپرهیت درآورد در کارنو فرایند 3-3' خواهد بود و این یعنی فرایندی که طی آن سیال منبسط شده کار انجام می‌دهد و طی آن گرم نیز می‌شود و ساختن چنین وسیله‌ای مقدور نمی‌باشد (بسیار مشکل است)

می‌توان به کمک روشهائی که متعاقباً صحبت می‌شود سیکل رانکین را به سیکل کارنو نزدیک کرد

## مثال 9.1

راندمان حرارتی سیکل رانکین که فشار حاکم بر کندانسور آن 10 kPa و بخار خروجی از بویلر اشباع و تحت فشار 2 MPa می‌باشد را بدست آورید (توجه: ورودی پمپ در سیکل رانکین همیشه مایع اشباع در نظر گرفته می‌شود)




(1) { مایع اشباع ، $P = 10\,kPa$ } $\rightarrow$ { $h_1 = 191.8\ kJ/kg$ ، $v_f = 0.00101$ }

$(Tds = dh - v\,dP) \rightarrow$ چون $s_2 = s_1 \rightarrow h_2 - h_1 = \int_1^2 v\,dP \xrightarrow{\text{فرض ثابت ماندن } v} h_2 - h_1 = v\Delta P$

$$w_p = h_2 - h_1 = v\Delta P = 0.00101(2000-10) = 2\ kJ/kg$$

$$h_2 - h_1 = 2 \Rightarrow h_2 = 193.8$$

(3) { $P = 2\,MPa$ ، بخار اشباع } $\rightarrow$ { $h_3 = 2799.5$ ، $s_3 = 6.3409$ }

$$q_H = h_3 - h_2 = 2799.5 - 193.8 = 2605.7\ kJ/kg$$

4 { $s_4 = s_3 = 6.3409$ ، $P_4 = 10\,kPa$ } $\rightarrow$ حالت مخلوط $\rightarrow x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s_{fg}}{s - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}} \Rightarrow x_4 = 0.7588$

{ $s_f = 0.6493$ ، $s_{fg} = 7.5009$ ، $h_f = 191.8$ ، $h_{fg} = 2392.8$ }

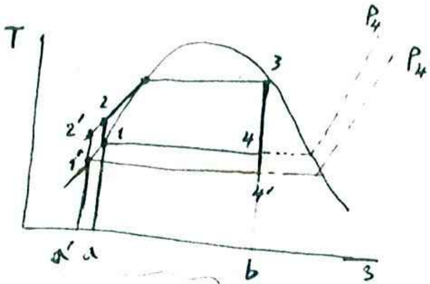
$$h_4 = h_f + x h_{fg} = 191.8 + 0.7588(2392.8) = 2007.5$$

$$w_t = h_4 - h_3 = 2799.5 - 2007.5 = 792.0\ kJ/kg$$

$$q_L = h_4 - h_1 = 2007.5 - 191.8 = 1815.7$$

$$\eta_{th} = \frac{q_H - q_L}{q_H} = \frac{w_t - w_p}{q_H} = 30.3\%$$

## 9.2 تاثیر فشار و دما در سیکل رنکین




افزایش کار ≈ افزایش گرما

* اگر فشار خروجی توربین را پایین آورده شود

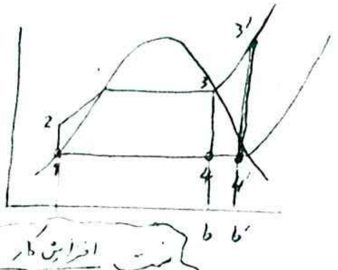
در این صورت کار به اندازه سطح (1-2-2'-1'-4'-4-1) اضافه می‌شود

و گرمائی که باید بیشتر به بویلر داد به اندازه سطح (a'-2'-2-a-a') می‌باشد

این دو سطح تقریباً برابر بوده در نتیجه راندمان افزایش می‌یابد

با پایین آوردن فشار خروجی مطابق شکل به منزله پایین آمدن دمای (متوسط) که گرما می‌دهد بوده و از این جهت راندمان افزایش می‌یابد

- این کار از این جهت محدودیت دارد که موجب بوجود آمدن رطوبت (قطرات مایع) بیشتر در توربین می‌شود که اولاً باعث پایین آمدن راندمان توربین و ثانیاً باعث سایش (erosion) تیغه‌های توربین می‌گردد




نسبت افزایش کار / افزایش گرما بیشتر بوده

* سوپرهیت کردن بخار

همانطور که دیده می‌شود کار به اندازه 3-3'-4'-4-3 افزایش می‌یابد

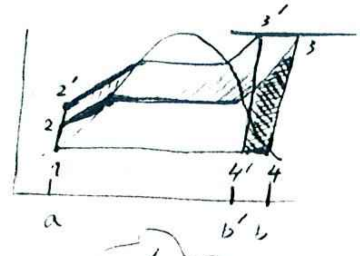
و گرمای ورودی به اندازه 3-3'-b'-b-3 افزایش می‌یابد

نسبت این مقدار کار افزوده شده به گرمای افزوده شده بیشتر از باقیمانده سیکل بوده در راندمان افزایش می‌یابد

- این ناشی از این حقیقت است که دمای متوسط که گرما می‌گیرد افزایش یافته است

- سوپرهیت کردن باعث کاهش رطوبت خروجی توربین می‌شود ولی از نظر متالورژیکی نمی‌توان دما را از حدی بالاتر برد

* افزایش فشار خروجی با حفظ دمای خروجی




کار تغییری نمی‌کند
گرمائی که پس می‌دهد کاهش می‌یابد

- کار به اندازه سطح دارای هاشور کاسته و به اندازه سطح هاشور زده افزوده می‌شود و در مجموع تقریباً تغییری نمی‌کند

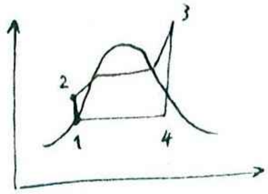
- گرمائی که کندانسور پس می‌دهد به اندازه 4'-b'-b-4-4' کمتر می‌شود

چون $\eta_{th} = \frac{w_t}{w_t + q_L}$ بنابراین راندمان افزایش می‌یابد

- این ناشی از این حقیقت است که متوسط دمای گرماگیری بالا رود

- محدودیت این روش افزایش رطوبت خروجی توربین و متالورژیکی

مثال 9.2 در یک سیکل رانکین بخار ورودی به توربین (4MPa 400°C) و فشار کندانسور 10 kPa است
راندمان حرارت سیکل را بیابید




① $\begin{cases} P = 10\ kPa & \text{مایع اشباع} \\ h_1 = 191.8 \\ v_1 = .00101 \end{cases}$

$s_1 = s_2 \rightarrow h_2 - h_1 = \int_1^2 v\,dP = v(P_2 - P_1)$

$w_p = v(P_2 - P_1) = .00101\,(4\times10^3 - 10) = 4\ kJ/kg$

$w_p = h_2 - h_1 \Longrightarrow h_2 = w_p + h_1 = 4 + 191.8 = 195.8$

② $\begin{cases} P_2 = 4\ MPa \\ h_2 = 195.8 \end{cases}$

③ $\begin{cases} 4\ MPa \\ 400\ ^\circ C \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_3 = 3213.6 \\ s_3 = 6.7690 \end{cases}$

④ $\begin{cases} P = 10\ kPa \\ s_4 = s_3 = 6.7690 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x_4 = \dfrac{s - s_f}{s_g - s_f} = \dfrac{s - s_f}{s_{fg}} \Rightarrow \dfrac{6.7690 - .6493}{7.5009} = .8159 \\ s_{fg} = 7.5009\ kJ/kg.K \\ s_f = .6493 \\ h_f = 191.8 \\ h_{fg} = 2392.8 \end{cases}$

$h = h_f + x\,h_{fg} = 191.8 + (.8159)(2392.8) = 2144.1$

$w_t = h_3 - h_4 = 3213.6 - 2144.1 = 1069.5$

$w_p = 4\ kJ/kg$

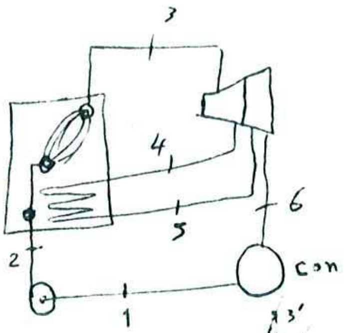
$\Rightarrow w_{net} = 1065.5$

$q_H = h_3 - h_2 = 3213.6 - 195.8 = 3017.8\ kJ/kg$

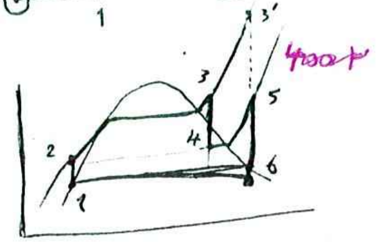
$\eta_{th} = \dfrac{w_{net}}{q_H} = \dfrac{1065.5}{3017.8} = 35.3\ \%$

# the reheat cycle

## 9.3 ری‌هیت




این روش دارای این مزیت است که در عین اینکه راندمان با افزایش فشار ورودی توربین بالا می‌رود مانع از بالا رفتن رطوبت در خروجی توربین می‌گردد




اگر محدودیت متالورژیکی اجازه می‌داد دما را تا '3 بالا ببرند بعلت بالا رفتن دمای متوسط گرماگیری راندمان بالاتر می‌بود

مثال 9.3 در سیکل ری‌هیت بخار بویلر را در ($4mpa$ و $400°C$) ترک می‌کند بعد از انبساط تا $400kpa$ در توربین مجدداً تا $400°C$ ری‌هیت می‌شود و پس تا $10\ Kpa$ منبسط می‌شود راندمان حرارتی نیروگاه را بدست آورید
سیکل

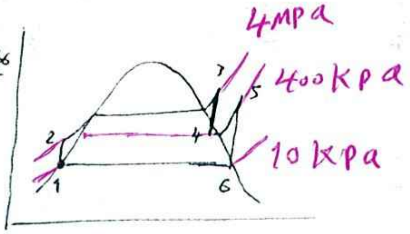
(3) $\begin{cases} 4mpa \\ 400°C \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_3 = 3213.6 \\ S_3 = 6.769 \end{cases}$

(4) $\begin{cases} 400Kpa \\ S_4 = S_3 = 6.769 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} S_f = 1.7766 \\ S_{fg} = 5.1193 \\ h_f = 604.7 \\ h_{fg} = 2133.8 \end{cases}$

$x_4 = \frac{S - S_f}{S_g - S_f} = \frac{6.769 - 1.7766}{5.1193}$

$x_4 = .9752$

$h_4 = h_f + x h_{fg} = 604.7 + (.9752)(2133.8) = 2685.6$




(5) $\begin{cases} P = 400\ Kpa \\ T = 400°C \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_5 = 3273.4 \\ S_5 = 7.8985 \end{cases}$

(6) $\begin{cases} P = 10Kpa \\ S_6 = S_5 = 7.8985 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} S_f = .6493 \\ S_{fg} = 7.5009 \\ h_f = 191.8 \\ h_{fg} = 2392.8 \end{cases}$

$x_6 = \frac{S - S_f}{S_{fg}} = \frac{7.8985 - .6493}{7.5009} = .9664$

$h_6 = h_f + x h_{fg} = 191.8 + (.9664)(2392.8) = 2504.3$

(1) $\begin{cases} P_1 = 10\ Kpa \\ \text{مایع اشباع} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_f = 191.8 \\ v_f = .00101 \end{cases}$

$S_1 = S_2 \rightarrow w_p = v(P_2 - P_1) = .00101(4000 - 10) = 4\ KJ/Kg$

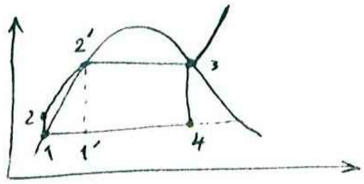
$w_p = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 4 + 191.8 = 195.8$

$w_T = w_{H-P} + w_{LP} = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6) = (3213.6 - 2685.6) + (3273.4 - 2504.3) = 1297.1$

$q_H = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) = (3213.6 - 195.8) + (3273.4 - 2685.6) = 3605.6\ KJ/kg$

$\eta_{th} = \frac{w_t - w_p}{q_H} = \frac{1297.1 - 4}{3605.6} = 35.9\%$

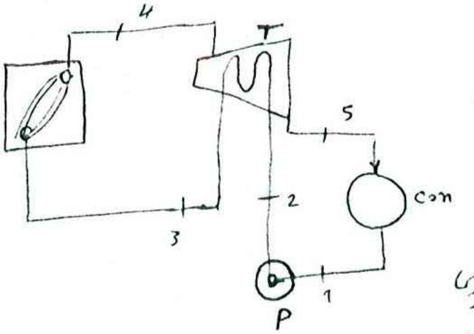
نسبت به مثال 9.2 راندمان تنها 0.6% تغییر کرده ولی رطوبت از 18.4% به 3.4% کاهش یافته است



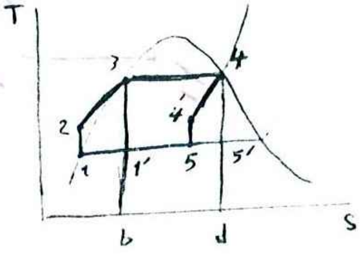

در شکل مقابل سیکل رنکین نشان داده شده است مایع با دمای سرد وارد بویلر شده و تا تبخیر تدریجی شود افزایش دما می یابد بنابراین متوسط دمایی که به سیال گرما داده می شود در فاصله 2-2' پایین بوده و این عاملی برای کاهش راندمان می باشد

در سیکل مایع در دمایی بالاتر از نقطه 2 وارد بویلر می شود (در حالت ایده‌آل در نقطه 2' یعنی اشباع وارد بویلر می شود) بدین ترتیب راندمان افزایش می یابد

برای بررسی سیکل ایده‌آل مقابل را در نظر می گیریم




در این سیکل مایع بعد از پمپاژ دور پوسته توربین عبور کرده و گرم می شود جهت عبور مایع عکس عبور بخار می باشد فرض می شود که فرایند انتقال حرارت برگشت پذیر باشد یعنی اختلاف دمای مایع و بخار داخل توربین در هر نقطه بسیار ناچیز باشد در این صورت فرایند گرماگیری مایع و گرمادهی بخار در توربین روی دیاگرام T-s موازی خواهند بود (منحنی 2-3 و منحنی 4-4') فرایند 1-2 و 4'-5 نیز چون آیزنتروپیک هستند موازی اند بنابراین دو منحنی 1-2-3 و 4-4'-5 موازی و سطح زیر آنها متشابه و مساوی است (گرمایی که مایع می گیرد برابر گرمایی است که بخار داخل [illegible] می دهد)

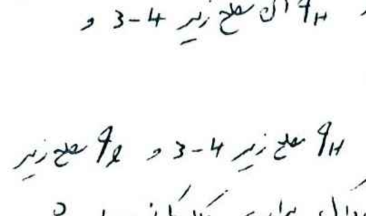



سیکل کارنو که در دماهای ماکزیمم و مینیمم مشابه به سیکل ما کار کند روی دیاگرام 3-4-1'-5'-3 می باشد که $q_H$ آن سطح زیر 3-4 و $q_L$ آن سطح زیر 1'-5' می باشد

از طرفی در مورد سیکل حاضر نیز $q_H$ سطح زیر 3-4 و $q_L$ سطح زیر 1-5 که برابر سطح زیر 1'-5' است می باشد بنابراین راندمان سیکل ایده‌آل برابر سیکل کارنو می باشد

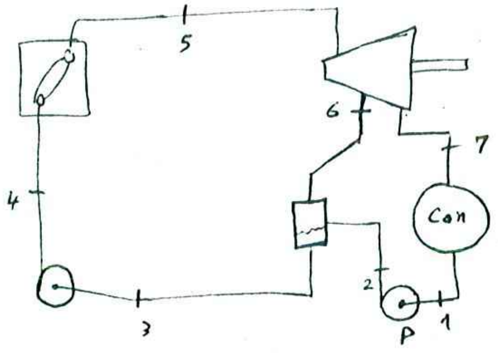
سیکل ایده‌آل عملی نیست اولاً انتقال حرارت از بخار داخل به مایع بصورت برگشت پذیر (از نظر فنی) امکان پذیر نیست ثانیاً رطوبت در طبقات نهائی توربین خیلی زیاد می شود

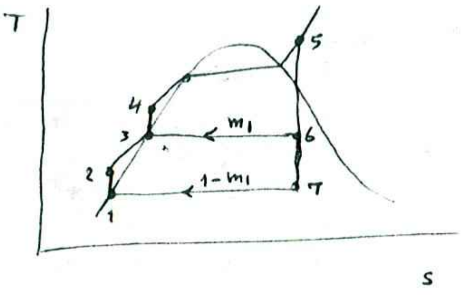
سیکل عملی بدین صورت است که مقداری بخار از طبقات میانی استخراج و در یک گرمکن آب تغذیه (feed water heater) با مایع خروجی پمپ تبادل حرارتی و یا مخلوط می شود مقدار بخاری که استخراج می شود باندازه‌ای است که مخلوط خروجی از گرمکن اشباع باشد




بخار استخراج شده در نقطه 6 مخلوط بخار و مایع می باشد که با مایع سرد خروجی پمپ مخلوط و نتیجه مایع اشباع نقطه 3 می باشد

مثال 9.4




– بخار بویلر را در ($4\,MPa$ $400°c$) ترک می‌کند وارد توربین می‌شود بعد از انبساط تا $400\,kPa$ مقداری از آن استخراج و جهت گرمکن بکار گرفته می‌شود مایعی که گرمکن را ترک می‌کند مایع اشباع تحت فشار $400\,kPa$ می‌باشد باقی‌مانده بخار تا $10\,kPa$ منبسط می‌شود راندمان حرارتی را بیابید

(5) $\begin{cases} 4\,MPa \\ 400\,°C \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} h_5 = 3213.6 \\ s_5 = 6.769 \end{matrix}$

(6) $\begin{cases} 400\,kPa \\ s_6 = s_5 = 6.769 \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} x = .9752 \\ h_6 = 2685.6 \end{matrix}$

(7) $\begin{cases} 10\,kPa \\ s_7 = s_6 = s_5 = 6.769 \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} x = \\ h_7 = 2144.1 \end{matrix}$

(1) $\begin{cases} 10\,kPa \\ \text{مایع اشباع} \end{cases}$ $\begin{matrix} h_1 = 191.8 \\ v = .00101 \end{matrix}$

$w_{p_1} = v\Delta P = .00101(400-10) = .4\ kJ/kg$

$h_2 = h_1 + w_p = 191.8 + .4 = 192.2\ \frac{kJ}{kg}$

(3) $\begin{cases} \text{مایع اشباع} \\ 400\,kPa \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} h_3 = 604.7 \\ v_3 = .001084 \end{matrix}$

$w_{p_2} = v\Delta P = .001084(4000-400) = 3.9\ kJ/kg$

$h_4 = h_3 + w_p = 604.7 + 3.9 = 608.6$

Feed water ~~tank~~ heater: $m_1 h_6 + (1-m_1)h_2 = h_3$

$m_1(2685.6) + (1-m_1)(192.2) = 604.7$

$m_1 = .1654$

$w_t = (h_5 - h_6) + (1-m_1)(h_6 - h_7)$

$= (3213.6 - 2685.6) + (1 - .1654)(2685.6 - 2144.1)$

$= 979.9$

~~$w_p = w_{p_1} + w_{p_2} = (1-m_1)$~~

$w_{net} = w_t - (1-m_1)\,w_{p_1} - w_{p_2}$

$= 979.9 - (1 - .1654)(.4) - 3.9 = 975.7\ kJ/kg$

$q_H = h_5 - h_4 = 3213.6 - 608.6 = 2605\ kJ/kg$

$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{975.7}{2605} = 37.5\%$

– برای توربین $w_T$ کار بر واحد جرم ورودی می‌باشد و $m_1$ در رابطه دخیل است

– برای گرمکن چون جرمهای متفاوت وارد می‌شوند $m_1$ در رابطه دخیل است

– برای کندانسور $q_L$ انتقال حرارت بر واحد جرم گذرنده از کندانسور بوده و $m_1$ در آن دخیل نیست $q_L = h_7 - h_1$

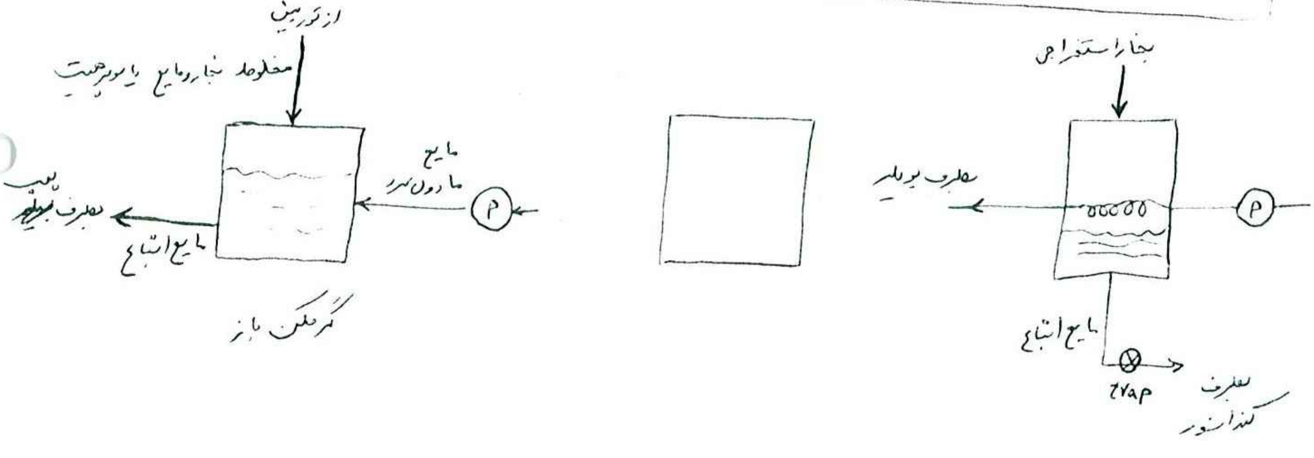
– برای پمپ 1 $w_p$ کار واحد جرم گذرنده از خود پمپ 1 می‌باشد و $m_1$ وارد رابطه نمی‌شود

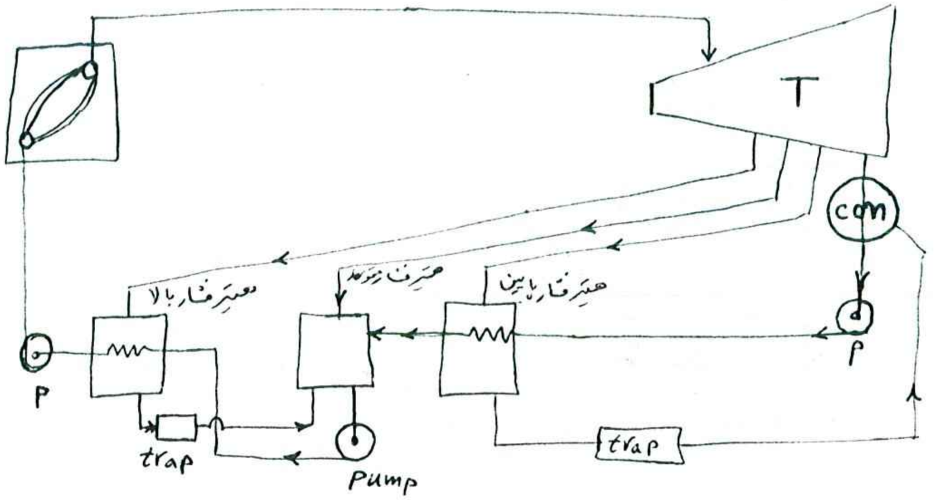
– در بررسی کلی مثل بازده راندمان مقدار کمیتها به ازای واحد جرم گذرنده کل سیکل مطرح است

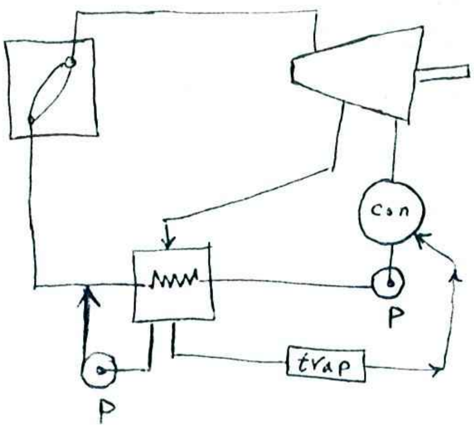
نکاتی در خصوص گرمکن ها

جدول زیر وضعیت دو نوع گرمکن را طبقه بندی می نماید

| نوع گرمکن | فشار آب تغذیه خروجی | دمای آب تغذیه خروجی |
|---|---|---|
| باز | فشار استخراج | دمای اشباع متناظر به فشار استخراج (مایع اشباع) |
| بسته | فشار بویلر | دمای اشباع متناظر به فشار استخراج (مایع فشرده) |






گرمکن‌هائی که بکار گرفته می‌شوند بر دو نوعند باز و بسته

- در گرمکن‌های باز استخراج با مایع تغذیه مستقیماً مخلوط می‌شود
- در گرمکن‌های بسته مبدل حرارت که در آن دو سیال مخلوط نمی‌شوند بکار گرفته می‌شود
- گرمکن باز دارای مزیت ارزان بودن و هم ضریب انتقال حرارت بالا می‌باشد ولی الزاماً نیز به پمپ کمکی دارد ولی گرمکن بسته الزاماً به پمپ نیاز ندارد
- در سیکل‌ها معمولاً از چند هیتر استفاده می‌شود (شکل بالا)

هرچقدر تعداد هیترها بیشتر باشد سیکل به حالت ایده‌آل نزدیکتر می‌شود ولی هزینه اقتصادی بیشتر می‌شود

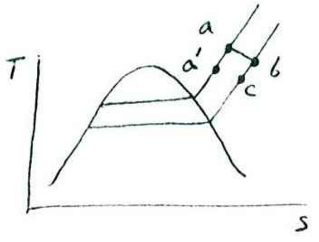
trap وسیله‌ای که به مایع اجازه می‌دهد عبور کند ولی به بخار اجازه عبور نمی‌دهد ضمناً فشار را می‌شکند

- هیتر باز در شکل بالا هم عمل گرم کردن و هم عمل هواگیری از آب تغذیه را انجام می‌دهد (هوا باعث خوردگی در بویلر می‌شود)

عواملی که باعث انحراف سیکل‌های واقعی از سیکل‌های ایده‌آل می‌شوند

الف) تلفات لوله‌ای — piping losses

تلفات فشار و تلفات حرارتی از لوله‌ها می‌باشد (لوله‌های واصل بویلر - توربین)




اگر خروجی از بویلر بدون در نظر گرفتن تلفات a باشد در این صورت با در نظر گرفتن تلفات فشار به تنهائی خروجی b خواهد بود (روی یک خط انتالپی ثابت واقعند) ولی اگر فقط انتقال حرارت در نظر گرفته شود روی خط فشار ثابت باید در جهت کاهش انتالپی حرکت کرد در این صورت نقطه a' خروجی خواهد بود

برای در نظر گرفتن هر دو بصورت جمع آثار (super position) عمل می‌شود و نقطه خروجی c خواهد بود

در داخل خود بویلر نیز تلفات فشار وجود دارد که باید مد نظر قرار گیرد

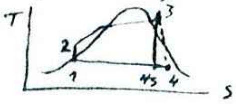
- هر دو پارامتر تلف کننده باعث پایین آوردن قابلیت کاردهی سیال می‌شوند

ب) تلفات توربین

تلفات عبور جریان از داخل توربین و تلفات حرارتی بدنه توربین (دومی دارای اهمیت کمتر است) نیز از تلف کننده انرژی می‌باشند

در این صورت فرایند برگشت ناپذیر می‌باشد و به کمک راندمان آدیاباتیک توربین می‌توان مسائل را تجزیه و تحلیل نمود

$$\eta_t = \frac{W_t}{h_3 - h_{4s}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

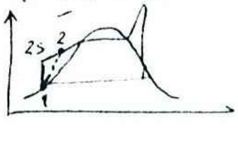



ج) تلفات پمپ

در پمپ نیز تلفات اصلی ناشی از برگشت ناپذیری ایجاد شده در اثر جریان و به مقدار کمی تلفات حرارتی از بدنه پمپ می‌باشند

[illegible]

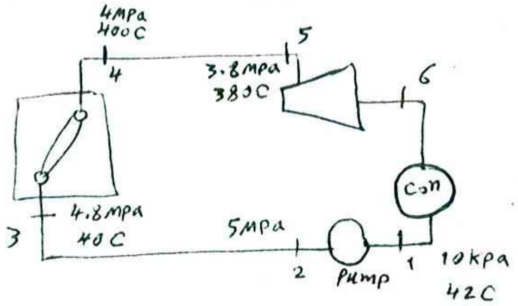
$$\eta_p = \frac{h_{2s} - h_1}{W_p} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

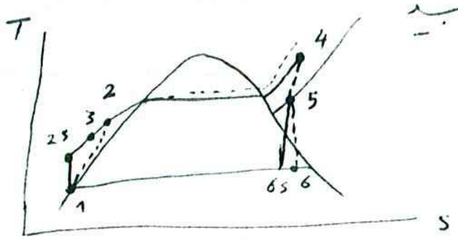



د) تلفات کندانسور

تلفات فشار در کندانسور و سرد شدن زیر نقطه اشباع که نیاز به گرمای اضافی برای رسیدن به حالت اشباع دارد از جمله تلفات می‌باشند

مثال 9.5 یک نیروگاه بخار مطابق شکل در دست است. راندمان توربین 86٪ و راندمان پمپ 80٪ می‌باشد. راندمان حرارتی سیکل را بیابید




⑤ $\begin{cases} 3.8\ MPa \\ 380C \end{cases} \rightarrow \begin{cases} s_5 = 6.7235 \\ h_5 = 3169.1 \end{cases}$

⑥ₛ $\begin{cases} P = 10\ kpa \\ s_{6s} = s_5 = 6.7235 \end{cases} \rightarrow$

$x_{6s} = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = .8098$

$s_f = .6493$

$s_{fg} = 7.5009$

$h_f = 191.8$

$h_{fg} = 2392.8$

$h_{6s} = h_f + x_{6s} h_{fg}$

$= 191.8 + (.8098)(2392.8) = 2129.5$

$w_t = \eta_t (h_5 - h_{6s}) = .86\,(3169.1 - 2129.5) = 894.1\ KJ/Kg$

---

$w_p = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_p} = \frac{v_f (P_2 - P_1)}{\eta_p} = \frac{.001009\,(5000 - 10)}{0.80} = 6.3\ KJ/Kg$

$v_{f(42)} = .001009$

---

$w_{net} = w_t - w_p = 894.1 - 6.3 = 887.8\ KJ/Kg$

---

③ $\begin{cases} 4.8\ MPa \\ 40°C \end{cases} \rightarrow$ جدول مادون سرد $\rightarrow h_3 = 171.8$

④ $\begin{cases} 4MPa \\ 400C \end{cases} \rightarrow$ سوپرهیت $\rightarrow h_4 = 3213.6$

$q_H = h_4 - h_3 = (3213.6 - 171.8) = 3041.8$

$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{887.8}{3041.8} = 29.2\ \%$

# نیروگاههای هسته‌ای

nuclear power cycle

نیروگاه‌های هسته‌ای به طور عمده از سیکل رانکین استفاده می‌کنند. برای جلوگیری از آلودگی رادیواکتیویته‌ای سیال عامل اصلی، مایع سدیم به عنوان سیال واسط عمل کرده، گرما را از راکتور گرفته و به بخار می‌دهد. پمپ‌ها و لوله‌کشی‌های مخصوص برای جلوگیری از نشت و تماس سدیم و آب باید بکار گرفته شود.

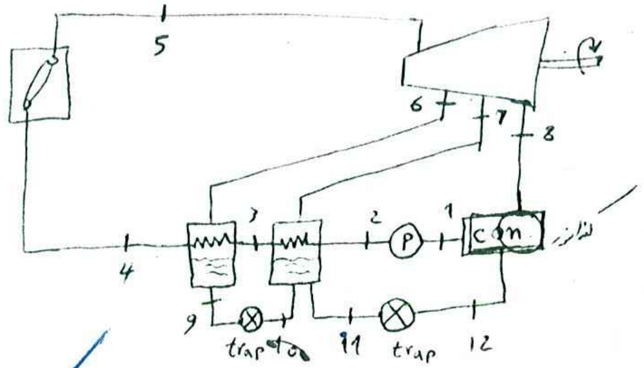
نیروگاه‌های هسته‌ای دو مزیت اساسی دارند: اول آنکه آلودگی هوا ایجاد نمی‌کنند، دوم صرفه‌جویی در سوخت‌های نفت و گاز که قابل استفاده در صنایع پتروشیمی و مانند آن می‌باشند. و مشکل استفاده از راکتور مسئله زباله‌های هسته‌ای است که باید در گودالهای عمیق در غارها و یا بستر دریاها دفن شود و در این مسئله دقت بالائی نیاز است.

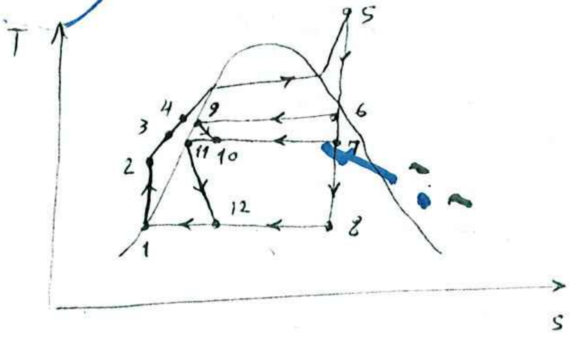
به خاطر محدودیت متالورژی موادی که به عنوان مخزن مواد شکافتنی استفاده می‌شوند، محدودیت در بالا رفتن دمای سیال عامل، دمای ماکزیمم عملی در سیکلهای هسته‌ای نمی‌تواند بالا باشد و در نتیجه راندمان آن پایین‌تر بوده، نسبت به نیروگاه فسیلی گرمای بیشتری باید به منبع سرد که محیط است پس دهد و این مشکلاتی را برای رودخانه‌ها و دریاچه‌ها که به عنوان منبع سرد هستند ایجاد می‌کند.

M91

| 9.7 |
|---|
| 9.11 |

مسئله




$P_4 = P_5 = 3.5$ MPa $\quad P_8 = 10$ KPa $\quad P_6 = 0.8$ MPa $\quad P_7 = 0.2$ MPa

⑤ $\begin{cases} 3.5 \text{ MPa} \\ 350^\circ C \end{cases} \rightarrow s_5 = 6.6579$, $h_5 = 3104$

⑥ $\begin{cases} 0.8 \text{ MPa} \\ s = 6.6579 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} s_f = 2.0462 \\ s_g = 6.6628 \\ h_f = 721.11 \\ h_g = 2769.1 \end{cases}$

$x_6 = \dfrac{s - s_f}{s_g - s_f} = \dfrac{6.6579 - 2.0462}{6.6628 - 2.0462} = .9989$

$h_6 = (.9989)(2769.1) + (1 - .9989)(721.11) = 2766.8$

⑦ $\begin{cases} s_7 = 6.6579 \\ P_7 = .2 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} s_f = 1.5301 \\ s_g = 7.1271 \\ h_f = 504.7 \\ h_g = 2706.7 \end{cases}$

$x = \dfrac{6.6579 - 1.5301}{7.1271 - 1.5301} = .916$

$h_7 = (0.916)(2706.7) + (1 - .916)(504.7) = 2521.7$

⑧ $\begin{cases} s_8 = 6.6579 \\ P_8 = 10 \text{ KPa} \end{cases} \quad \begin{cases} s_f = .6493 \\ s_g = 8.1502 \\ h_f = 191.83 \\ h_g = 2584.7 \end{cases}$

$x = \dfrac{6.6579 - .6493}{8.1502 - .6493} = .801$

$h_8 = (.801)(2584.7) + (1 - .801)(191.83) = 2108.5$

① $\begin{cases} P = 10 \text{ KPa} \\ \text{مایع اشباع} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_1 = h_f = 191.8 \\ v_1 = v_f = .00101 \end{cases}$

$w_p = v_f(P_2 - P_1) = .00101(3.5 \times 10^3 - 10)$
$= 3.525$ KJ/Kg

$h_2 - h_1 = w_p \Rightarrow h_2 = 3.525 + 191.8 = 195.3$

③ $\begin{cases} P = 3.5 \text{ MPa} \\ T = \text{دمای اشباع متناظر با } P_7 \quad 120.23 \end{cases} \longrightarrow h = h_{f(120.23)} = 504.7$

④ $\begin{cases} P = 3.5 \text{ MPa} \\ T = 170.43 \end{cases}$ دمای اشباع متناظر با فشار $P_6$

$h_{f(170.43)} = 721.11$

⑨ $\{ h = h_{f(.8 \text{MPa})} = 721.11$

⑩ $\{ h_{10} = h_9 = 721.11$

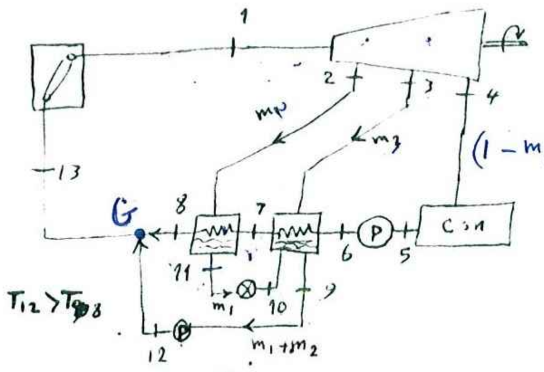
⑪ $\{ h_{f(P = .2 \text{MPa})} = 504.7$

⑫ $\{ h_{12} = h_{11} = 504.7$

M 92

مثال 9.5 هولمن

بخار تحت (10 MPa 540°C) وارد توربین می‌شود استخراج در فشارهای 2 MPa و 700 kPa صورت می‌گیرد و خروجی توربین 6 kPa می‌باشد راندمان توربین 85% و پمپ 100% است راندمان حرارتی و دبی جرمی جهت ایجاد توان 20 000 kW را بدست آورید




$P_1 = P_{13} = P_{12} = P_8 = P_7 = P_6 = 10\ MPa$

$T_1 = 540^\circ C \qquad P_2 = P_{11} = 2\ MPa$

$P_3 = P_9 = 700\ kPa \qquad P_4 = P_5 = 6\ kPa$

① $\begin{cases} 10\ MPa \\ 540 \end{cases} \rightarrow h_1 = 3475$, $s_1 = 6.783$

②s $\begin{cases} 2\ MPa \\ s_{2s} = s_1 = 6.783 \end{cases} \longrightarrow h_{2s} = 3005$

$\eta_t = \dfrac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow .85 = \dfrac{3475 - h_2}{3475 - 6.783} \Rightarrow$

$h_2 = 3076 \qquad s_2 = 6.8$

$h_{3s} = 2828 \longrightarrow .85 = \dfrac{h_2 - h_3}{h_2 - h_{3s}} \Rightarrow h_3 = 2865$, $s_3 = 6.93$

$h_{4s} = 2136 \rightarrow .85 = \dfrac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \Rightarrow h_4 = 2245$

$h_5 = h_{f\,(6\,kPa)} = 151.53$

$w_p = h_{6s} - h_5 = v_5(P_6 - P_5) = .00100 64(10^4 - 6) = 10.06$

$\eta_p = 1 \Rightarrow h_{6s} = 161.59 \rightarrow h_6 = h_{6s}$

$h_9 = h_f\,(700\,kPa) = 697.22$

$h_{11} = h_{10} = h_f\,(2\,MPa) = 908.79$

$w_p = h_{12s} - h_9 = v_9(P_{12} - P_9) = .001108(10\,000 - 700) = 10.3$

$h_{12} = h_{12s} = 707.5$

⑦ $\begin{cases} 165^\circ C \longleftarrow \text{دمای اشباع متناظر با } 700\ kPa \\ 10\ MPa \end{cases} \rightarrow h_7 = 703.18$

⑧ $\begin{cases} 212.4^\circ C \longleftarrow \text{دمای اشباع فشار } 2\ MPa \\ 10\ MPa \end{cases} \rightarrow h_8 = 912.07$

بالانس انرژی برای گرمکن‌ها

$m_1 h_2 + (1 - m_1 - m_2) h_7 = (1 - m_1 - m_2) h_8 + m_1 h_{11}$

$m_2 h_3 + (1 - m_1 - m_2) h_6 + m_1 h_{10} = (1 - m_1 - m_2) h_7 + (m_1 + m_2) h_9$

$m_1 = .0721\ kg$

$m_2 = .1799\ kg$

6

بالانس انرژی گره

$(1 - m_1 - m_2) h_8 + (m_1 + m_2) h_{12} = (1)(h_{13})$

$h_{13} = 860.5$

$w_t = (h_1 - h_2) + (1 - m_1)(h_2 - h_3) + (1 - m_1 - m_2)(h_3 - h_4)$
$= (3475 - 3076) + (1 - .0721)(3076 - 2865) + (1 - .0721 - .1799)(2865 - 2245) = 1058.55$

~~$w_p = (1 - m_1 - m_2)(h_6 - h_5)$~~

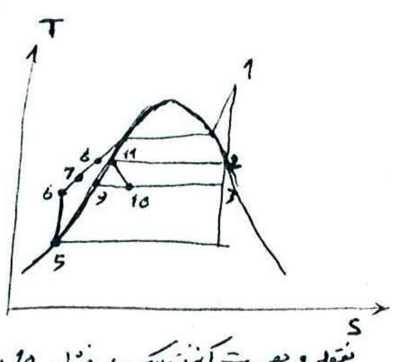
$w_p = (1 - m_1 - m_2)(h_6 - h_5) + (m_1 + m_2)(h_{12} - h_9) =$
$= (1 - .0721 - .1799)(161.59 - 151.53) + (.0721 + .1799)(10.3) = 10.12$

$w_{net} = w_t - w_p = 1048.4$

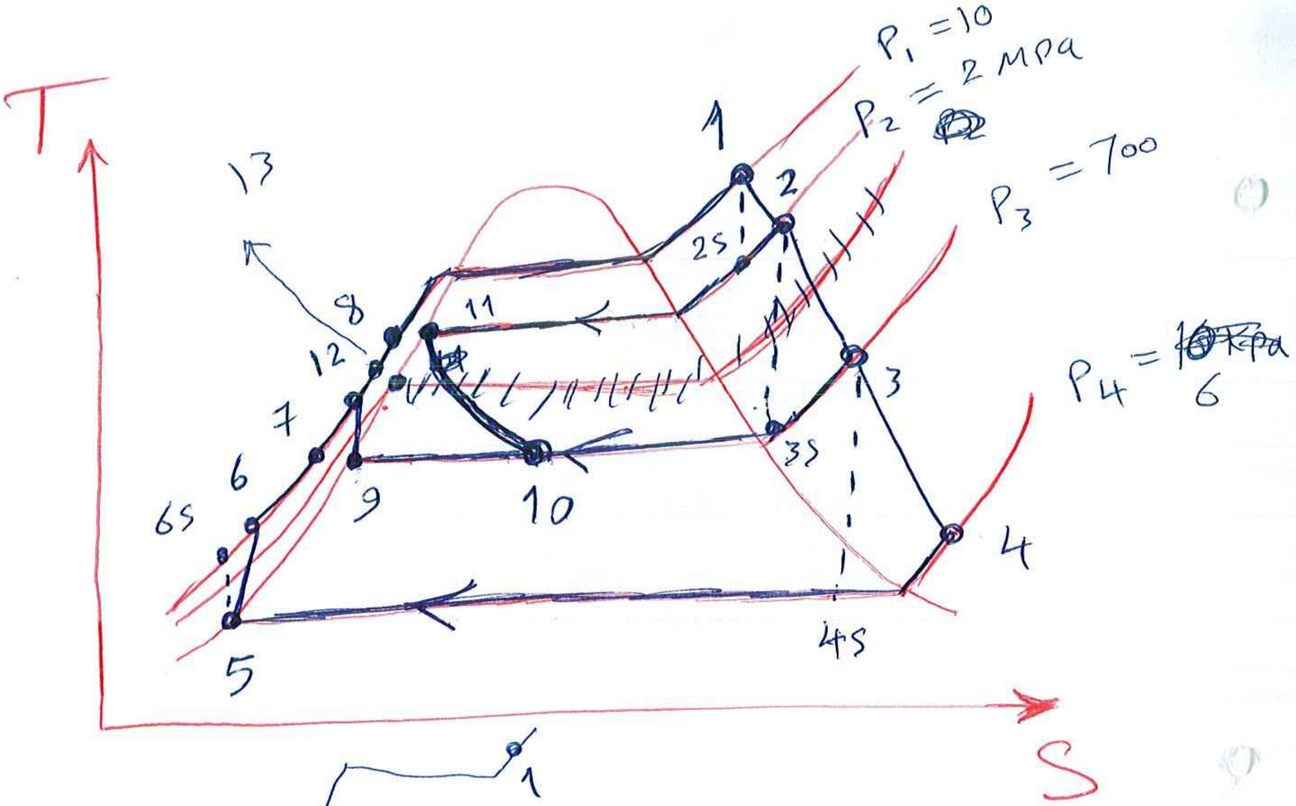
$q_H = h_1 - h_{13} = 2614.5$

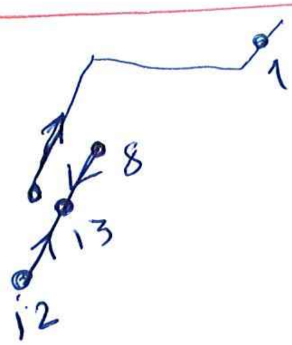
$\eta = \dfrac{w_{net}}{q_H} = 40.1\%$

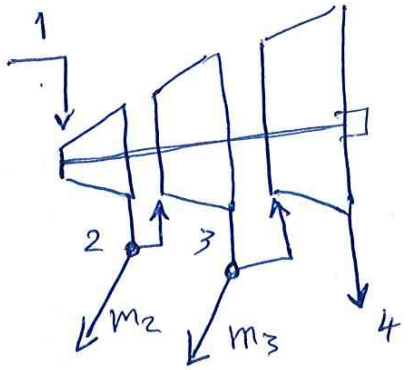
$\dot{m} = \dfrac{20\,000}{1048.4} = 19.08\ kg/s$




نقطه ۷ و ۸ به صورت آیزوتروپیک به فشار 10 MPa برخورد می‌کنند بسته به اینکه انتروپی آن از ۸ بیشتر یا کمتر باشد قبل و یا بعد از آن واقع می‌شود


T
S
$P_1 = 10$
$P_2 = 2$ MPa
$P_3 = 700$
$P_4 = 6$
1
2
2s
3
3s
4
4s
5
6
6s
7
8
9
10
11
12
13


1
8
13
12


1
2
3
4
$m_2$
$m_3$

کند. پس لازمست روغن خوب گرم شده تا بخوبی جریان پیدا کند. اگر روغن بخوبی گرم نشود و بدمای مطلوب نرسد باعث هوا گرفتن روغن در غلتکهای کلندر می شود که دوباره مانند قسمتهای دیگر باعث تغییر گرماژ میشود.
حجم روغن: با سرد شدن روغن هیدرولیک سطح مخزن روغن پایین می اید. توسط لول کنترل هایی که در مخازن روغن تعبیه شده است در صورت کم شدن حجم روغن دستور قطع دستگاه صادر می شود.

## وایندر:

الیاف پرس شده از کلندر برای پیچاندن به قسمتی بنام وایندر انتقال پیدا میکنند که وظیفه وایندر جمع کردن الیاف پرس شده در متراژهای دلخواه می باشد.
طبق متراژهای تنظیم شده در کنتور متراژ الیاف پرس شده بدور محور پیچانده می شوند. ایندکس بخش دیگری از وایندر می باشد که وظیفه این قسمت جابجایی قطرهای متناسب و جابجایی محورها بصورت ترتیبی می باشد. به عمل تعویض محورها بصورت ترتیبی اصطلاحا داف گفته می شود.
در بالای قسمت وایندر و بالای محور پیچش کاترهایی وجود دارد که وظیفه انها بریدن الیاف بنا به سفارش مشتری در عرضهای مختلف می باشد.
بعد از پایان متراژ داده شده به کنتور متراژ قیچی ای در زیر دستگاه وجود دارد که به محض رسیدن متراژ به اندازه دلخواه توسط جکهای پنوماتیک بالا امده و محصول را قطع می کند.

حل: ابتدا انتالپی کلیه نقاط را بدست می آوریم

(5) $\begin{cases} 6\,kPa \\ \text{مایع اشباع} \end{cases} \xrightarrow{\text{جدول}} v_f = 0.0010064$

$h_5 = h_f = 151.59$

(7) $\begin{cases} 10\,MPa \\ T_7 = T_9 = T_{sat}(700\,kPa) = 165°C \end{cases}$

$\rightarrow h_7 = 703.18$

(6s) $\begin{cases} P = 10\,MPa \\ \text{فرایند آیزنتروپیک در پمپ} \end{cases} \rightarrow w_{Ps} = v\Delta P$

$w_{Ps} = 0.0010064(10^4 - 6) = 10.06$

$w_{Ps} = h_{6s} - h_5 \Rightarrow 10.06 = h_{6s} - 151.59$

$h_{6s} = 161.59$

(8) $\begin{cases} 10\,MPa \\ T_8 = T_{11} = T_{sat}(2\,MPa) = 212.4°C \end{cases}$

$\rightarrow h_8 = 912.07$

(9) $\begin{cases} 700\,kPa \\ \text{مایع اشباع} \end{cases} \rightarrow h_9 = 697.2$

$v_f = 0.001108$

(6) $\eta_P = \dfrac{w_s}{w_a} = \dfrac{h_{6s} - h_5}{h_6 - h_5}$

$\eta_P$ → 100%

$h_6 = 161.59$

(10) $h_{10} = h_{11}$

(11) $\begin{cases} 2\,MPa \\ \text{مایع اشباع} \end{cases} \rightarrow h_{11} = h_f = 908.79$

(12) $\begin{cases} 10\,MPa \\ \text{پمپ آیزنتروپیک} \end{cases} \rightarrow w_{PB} = v\Delta P$

$w_{PB} = 0.001108(10^4 - 700) = 10.3$

$w_{PB} = h_{12} - h_9 \Rightarrow h_{12} = 707.5$

$\begin{cases} h_2 = 3076 \\ P_2 = 2\,MPa \end{cases} \rightarrow S_2 = 6.6$

(3s) $\begin{cases} 700\,kPa \\ S_{3s} = S_2 \end{cases} \rightarrow h_{3s} = 2828$

(1) $\begin{cases} 10\,MPa \\ 540°C \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} h_1 = 3475 \\ S_1 = 6.783 \end{matrix}$

(3) $\eta_T = \dfrac{w_a}{w_s} = \dfrac{h_2 - h_3}{h_2 - h_{3s}}$

$\eta_T$ → 0.85

$h_3 = 2865$

(2s) $\begin{cases} 2\,MPa \\ S_{2s} = S_1 \end{cases} \rightarrow h_{2s} = 3005$

$\begin{cases} h_3 = 2865 \\ P_3 = 700\,kPa \end{cases} \rightarrow S_3 = 6.93$

(4s) $\begin{cases} 6\,kPa \\ S_{4s} = S_3 \end{cases} \rightarrow h_{4s} = 2136$

(2) $\eta_T = \dfrac{w_a}{w_s} = \dfrac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow h_2 = 3076$

$\eta_T$ → 0.85

(4) $\eta_T = \dfrac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \Rightarrow h_4 = 2245$

## سرعت اینترنت چه تاثیری برکاربران دارد

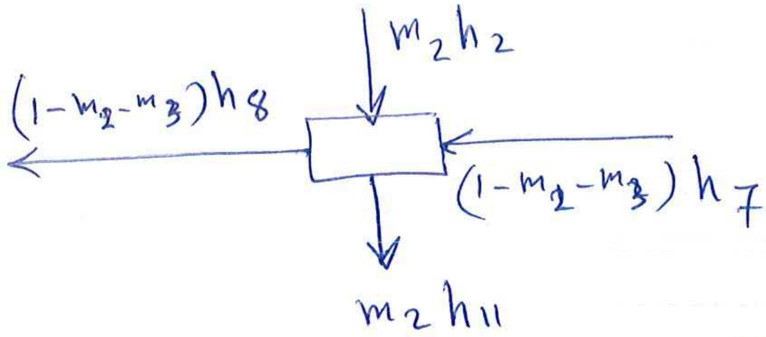
قطعا تا زمانی که روش دسترسی کاربران کشور ما از طریق dial up کند، با اشغال و قطعی و ده‌ها مشکل دیگر باشد بی‌تردید امید استفاده از شبکه جهانی در مسیر توسعه، امیدی واهی خواهد بود.

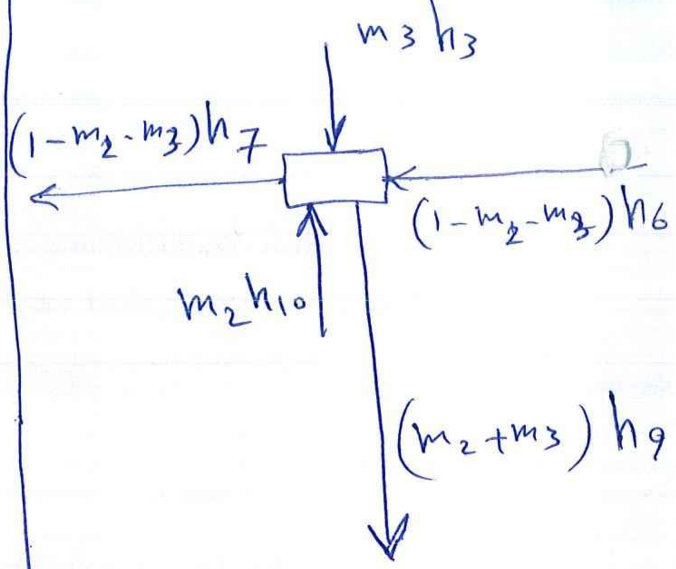
- «اینترنت پرسرعت» کمسرعت

▪ اشاره: یک دستگاه دولتی، دستورالعملی را به شرکت‌های خصوصی تحت نظارت خود ابلاغ می‌کند، البته با این تلاش و تاکید که «محتوای آن علنی نشود.» برای مدیران این شرکت‌ها، دلیل صدور این بخشنامه معلوم نیست، و هیچ توضیحی هم درباره آن ارائه نمی‌شود. اما آنچه مدیران شرکت‌ها را متعجب می‌کند، این نکته نیست، چرا که قبلا بسیار دیده‌اند تصمیمات و فرامینی را که هیچ دلیل معقول و موجهی برایش نیافته‌اند، اما از سر ناگزیری آن را پذیرفته‌اند. آنچه بیشتر مایه تعجب و سئوال است، این است که مگر می‌توان چنین تصمیمی را مخفی نمود؟ بخشنامه‌ای که موضوع آن، گروه قابل‌توجهی از مردم هستند، و قرار است اجرا هم شود، امکان مخفی ماندن دارد؟ و چنین بود که طرح «محدود کردن طرح دسترسی به اینترنت پرسرعت» به سرعت آفتابی شد و به رسانه‌ها راه یافت. اما با گذشت چند روز، هر دو طرف از علنی شدن آن یکه خوردند، دستگاه‌های عامل صدور دستورالعمل، از واکنش تند و صریح کارشناسان و رسانه‌ها، و کارشناسان و کاربران و رسانه‌ها هم از دلایل صدور این دستورالعمل در چند سال گذشته همزمان با ارتقاء جایگاه تکنولوژی اطلاعات در جهان پیشرفته، ما هم کشورمان شاهد طرح اهمیت این فناوری، و به تدریج توجه جدی به آن بوده‌ایم. از این رو می‌توان چند سال اخیر را برهه درخشانی در اقبال عمومی از فاوا (فناوری اطلاعات و ارتباطات) دانست.
اکنون همانگونه که در دنیا توسعه و پیشرفت را بدون راهبردهای مبتنی بر این فناوری نمی‌توان فرض کرد، کشور ما هم در گذر از گام‌های ابتدایی، به تلقی راهبردی از «اقتصاد دانایی‌محور» رسیده که در واقع طرح عملیاتی به کارگیری این فناوری‌هاست.
مجموعه برنامه‌های دولت گذشته، مانند «طرح تکفا»، از این نقطه نظر واجد ارزش بالایی هستند که توانستند جایگاه ICT را در حد امکان برای کارشناسان و برنامه‌ریزان ما، شفاف کنند. اما آنچه در سال گذشته و نیز امسال مایه نگرانی بود، این سئوال بود که مدیران و مسئولین جدید در مواجهه با این شرایط چه خواهند کرد و این عامل مهم در توسعه و ترقی دنیای پیشرفته را چگونه در برنامه‌های کشوری به کار خواهند گرفت؟
البته طرح‌ها و وعده‌های مدیران ارشد مبنی بر عزم جدی در کاربرد این فناوری، تا حدودی مایه خشنودی بود، اما اتفاق اخیر، ابهام را بر این فضا مستولی نمود.

- مشکل از کجا آغاز شد؟

در تاریخ ۱۲ مهر ماه جاری سازمان تنظیم مقررات وابسته به وزارت ICT، طی دستورالعملی از شرکت‌های PAP خواست که در ارائه اینترنت پرسرعت به کاربران خود محدودیت قائل شوند. PAP درواقع عنوان شرکتی است که با طی مراحل مختلف و نهایتا اخذ مجوز از دولت، موظف است خدمات اینترنت پرسرعت را به متقاضیان ارائه دهد.
جالب آن است که این شرکت‌ها به دلیل مشکلات گوناگون، هنوز نتوانسته‌اند بخش زیادی از آنچه قانون مقرر کرده به کاربران ارائه دهند، و از این رو ضروری است که برای ارضای قانون، با رفع مشکلاتشان در روند افزایش کاربران تسریع ایجاد گردد.
از سوی دیگر با توجه به اینکه کشور ما در بکارگیری شبکه اینترنت در مراحل ابتدایی به سر می‌برد و غالب کاربران از مسیر قدیمی dial up وارد شبکه می‌شوند، با سرعت و کیفیت کم و گاه ناکارآمد مواجهند، ولی مطابق آنچه تجربه دنیا نشان می‌دهد گسترش طرق موثر اتصال به اینترنت مانند ADSL می‌تواند تحولی جدی در این زمینه ایجاد نماید.




بالانس انرژی

خروجی = ورودی

$$m_2 h_2 + (1-m_2-m_3)h_7 = m_2 h_{11} + (1-m_2-m_3)h_8$$

ورودی = خروجی

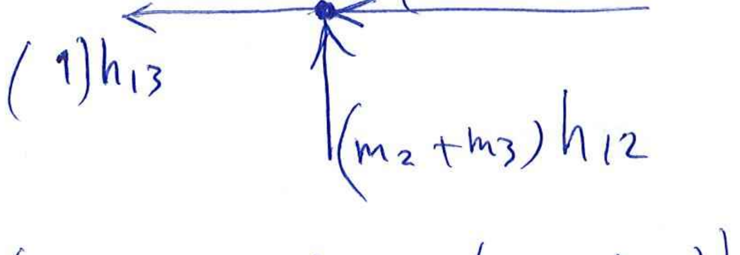
$$m_3 h_3 + (1-m_2-m_3)h_6 + m_2 h_{10} = (m_2+m_3)h_9 + (1-m_2-m_3)h_7$$

از حل دو معادله و دو مجهول

$m_2 = 0.0721$ kg $\quad m_3 = 0.01799$ kg

برای نقطه G یک بالانس انرژی می‌نویسیم تا $h_{13}$ بدست آید

ورودی = خروجی




$$(1-m_2-m_3)h_8 + (m_2+m_3)h_{12} = (1)h_{13}$$

$$h_{13} = 860.5$$

روابط مختلفی برای توزیع $l_m$ در این نواحی ارائه شده است:

**الف) اندازه طول اختلاطی $l_m$ برای ناحیه نزدیک دیواره یا Near-Wall Region:**

در نزدیکی سطح جامد، به واسطه طبیعت آرام بودن جریان، $l_m$ بایستی سریعتر از y به سمت صفر برود. لذا بایستی از یک ضریب تصحیح کننده با نام «ضریب میرائی ون دریست» استفاده گردد:

$$l_m = ky\left[1-\exp.\left(-\frac{y^+}{A}\right)\right]_{A=24,\ldots,26} \qquad (۲-۳۵)$$

با توجه به رابطه تصحیح موجود در رابطه (۲-۳۵) (یا همان ترم صحیح کننده $\left[1-\exp.\left(-\frac{y^+}{A}\right)\right]$) می‌توان با استفاده از بسط ریاضی بخش مربوط به عبارت تصحیح شده نشان داد که هرگاه $y \to 0$ برود، در این صورت $l_m \propto y^2$ می‌شود. ضریب تصحیح کننده $l_m$ باید همواره طوری انتخاب گردد که وقتی $y \to 0$ برود، $l_m$ سریعتر از $y$ به سمت صفر میل نماید، یعنی اینکه $l_m \propto y^n$، به طوری که n>1 باشد. لازم به ذکر است که $y^+$ کمیتی از جنس عدد رینولدز است.

**ب) اندازه طول اختلاطی $l_m$ برای ناحیه قانون لگاریتمی یا Log-Law Region:**

از آنجا که مجدداً به دنبال رابطه‌ای به شکل $-\rho\overline{u'\upsilon'} = \mu\frac{\partial u}{\partial y}$ می‌باشیم و از طرفی در ناحیه دارای قانون لگاریتمی، بعداً نشان خواهیم داد که شکل پروفیل سرعت به صورت $\frac{u}{u^*} = \frac{1}{k} - Ln\left(\frac{Eyu^*}{\nu}\right)$ می‌باشد که در آن $u^* = \sqrt{\frac{\tau_{Wall}}{\rho}}$ می‌باشد، لذا با مشتق گیری از پروفیل مزبور خواهیم دید که:

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{u^*}{ky} \qquad (۲-۳۶)$$

در نتیجه:

$$-\rho\overline{u'\upsilon'} = \mu_t\frac{\partial u}{ky} = \rho u^{*2} \Rightarrow \mu_t = \rho k u^* y \Rightarrow \nu_t = ku^* y \qquad (۲-۳۷)$$

با حذف $u^*$ از داخل دو معادله فوق خواهیم دید که:

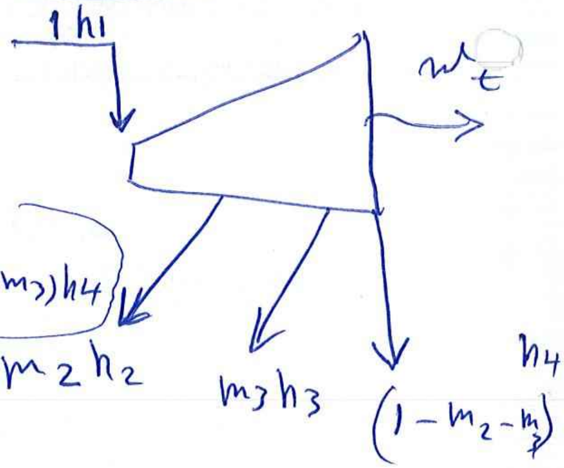
$$\nu_t = (ky)^2\frac{\partial u}{\partial y} \qquad (۲-۳۸)$$

$$\eta_{th} = \frac{w_t - w_p}{q_H}$$

$$w_t = (1)(h_1 - h_2) + (1 - m_2)(h_2 - h_3) + (1 - m_2 - m_3)\,h_3 - h_4$$

$$\Rightarrow w_t = 1058.55 \ \frac{KJ}{kg}$$

OR




$$(1)(h_1) = m_2 h_2 + m_3 h_3 + (1 - m_2 - m_3) h_4 + w_t$$

---

$$w_p = (1 - m_2 - m_3)(h_6 - h_5) + (m_2 + m_3)(h_{12} - h_9)$$

$$= 10.12$$

---

$$q_H = (1)(h_1 - h_{13}) = 2614.5$$

---

$$\Rightarrow \eta_{th} = 40.1\ \%$$

---

$$\dot{W}_{net} = \dot{m}\, w_{net} = \dot{m}\,(w_t - w_p)$$

$$20\,000 = \dot{m}\,(1058.55 - 10.12) \Rightarrow \dot{m} = 19.08 \ \text{kg/s}$$

$$\nu_t = l_m^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \qquad (۳٤-۲)$$

بنابراین می‌توان با استفاده از رابطه فوق، اندازه ویسکوزیته سینماتیک آشفته را به طور مقیاس اختلاط $l_m$ و گرادیان سرعت متوسط مرتبط نمود. مطالعات تجربی بعدی پرانتل نشان داده که $l_m$ حتی درون یک جریان مجزا دارای مقدار ثابتی نمی‌باشد و مقدار آن وابسته به فاصله دیواره و پارامترهای دیگر می‌باشد. در بخش بعدی می‌توان چگونگی تعیین اندازه $l_m$ را برای جریان های مختلف و در قسمتهای مختلف هر جریان مشاهده نمود. اگرچه می‌توان روابط کاملتری را در کتابهای مرتبط با جریان های آشفته بیابیم. پیش از ادامه مبحث، مجدداً یادآوری می‌کنیم که استفاده از روش پرانتل و روابطی نظیر $\nu_t = l_m^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|$، تنها محدود به جریان های برشی ساده نظیر لایه‌های مرزی، جریان های جت برشی و کلاً هر جریانی که در آن توزیع سرعت u در هر مقطع تنها تابعی از y می‌باشد. لذا هرچه انحراف جریان های دیگر از این شرط بیشتر باشد، استفاده از رابطه $\nu_t = l_m^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|$ با خطای بیشتری مواجه خواهد بود. [متیو ، جین، اسکات ،جولیان، ۲۰۰۰]

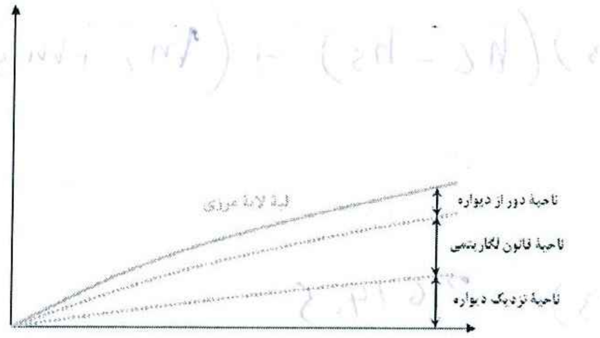
**۲-۱۱-۳-۱- تعیین اندازه طول اختلاطی $l_m$ در نواحی مختلف یک لایه مرزی:**

می‌توانیم یک میدان تشکیل شده برروی یک صفحه را به سه ناحیه مختلف ذیل(شکل ۲-۱۵) تقسیم نماییم:

۱) ناحیه نزدیک دیواره یا Near-Wall Region

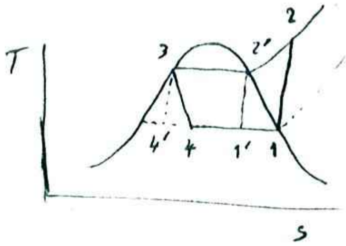
۲) ناحیه قانون لگاریتمی یا Log-Law Region

۳) ناحیه دور از دیواره یا Outer Layer




شکل (۲-۱۵): پروفیل سرعت در جریان آشفته و لایه‌های مختلف موجود در آن.

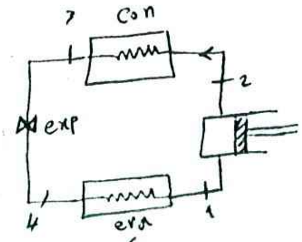
سیکل تبرید تراکم بخاری




سیکل ایده‌آل برای تبرید تراکم بخاری در شکل مقابل نشان داده شده است

1→2 بخار اشباع وارد کمپرسور شده و طی فرایند آیزنتروپیک تا 2 متراکم می‌شود

2→3 فرایند انتقال حرارت فشار ثابت در کندانسور صورت گرفته مایع اشباع از آن خارج می‌شود




3→4 فرایند خفقان (throttling) آدیاباتیک

4→1 تبخیر فشار ثابت در اواپراتور

سیکل کارنو متناظر در شکل نشان داده شده است

علت غیر عملی بودن کارنو و انتخاب این سیکل بعنوان ایده‌آل این است که ساختن وسیله‌ای که بتواند مخلوط بخار و مایع را متراکم کند بسیار دشوار است

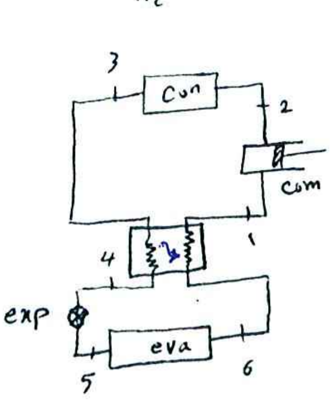
خودم: اگر هم چنین وسیله‌ای ساخته شود برای آنکه فاز مایع و بخار در حین تراکم متعادل باشند باید گرمای انتقال حرارت و جرم از مرز بین دو فاز بخوبی صورت گیرد که نیاز به زمان طولانی می‌باشد (در صورت غیر متعادل بودن آیزنتروپیک نخواهد بود)

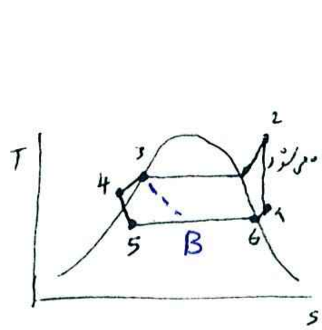
ضمناً انبساط آیزنتروپیک 3-4' سیال نیز مستلزم آن است که سیال آرام و با سرعت بسیار پایین منبسط شود از این جهت استفاده از شیر انبساطی که ایجاد برگشت‌ناپذیری کرده ولی با سرعت مناسبی عمل می‌کند مفیدتر است

ضریب عملکرد برای سیکلهای تراکم بخار در فصل ششم تعریف شده است

$$\beta = \frac{q_L}{w_c} \quad \text{for refrigeration} \qquad \beta' = \frac{q_H}{w_c} \quad \text{for heat pump}$$

خودم: برای افزایش ضریب عملکرد سیکلهای تبرید معمولاً از مبدل حرارتی مطابق شکل استفاده می‌شود

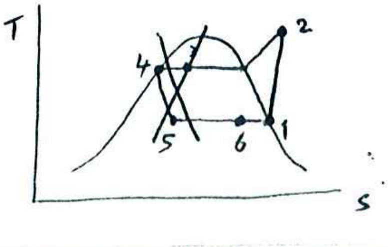



اگر سیکل در حالت ایده‌آل کار کند با توجه به انحراف دو احتمال زیر وجود دارد

الف) ورود قطرات مایع به کمپرسور

ب) خروج از کندانسور

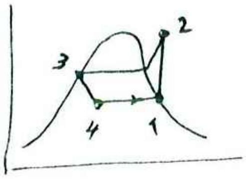


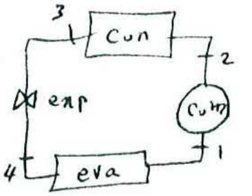

مزایای استفاده از مبدل: احتراز از ورود قطرات مایع به کمپرسور و افزایش ضریب عملکرد

**مثال 9.6** در سیکل تبرید ایده‌آل ساده ایده‌آل نشان داده شده سیال مبرد فریون 12 دمای اواپراتور $-20^\circ C$ و دمای کندانسور $40^\circ C$ است

دبی جرمی در سیکل $0.03\ kg/s$ می‌باشد ضریب عملکرد و توان سرمایش را بدست آورید

① $\begin{cases} -20^\circ C \\ \text{بخار اشباع} \end{cases} \rightarrow h_1 = 178.61$, $s_1 = .7082$






② $\begin{cases} P_2 = 0.9607\ MPa \\ S_2 = S_1 = .7082 \end{cases} \rightarrow T_2 = 50.8$, $h_2 = 211.38$

فشار اشباع متناظر با دمای 40

③ $\begin{cases} T = 40^\circ C \\ \text{بخار اشباع} \end{cases} \rightarrow h_3 = 74.53$

④ $\begin{cases} \text{حالت اشباع} \\ h_4 = h_3 = 74.53 \end{cases}$

$w_c = h_2 - h_1 = 211.38 - 178.61 = 32.77\ KJ/Kg$

$q_L = h_1 - h_4 = 178.61 - 74.53 = 104.08\ KJ/Kg$

$\beta = \dfrac{q_L}{w_c} = \dfrac{104.08}{32.77} = 3.18$

$\dot{Q}_L = \dot{m}\, q_L = .03 \times 104.08 = 3.12\ KW$

---

## 9.7 working fluids for vapor-compression refrigeration ~~cycle~~ systems

سیال مبرد

- انواع متنوعی از مبردها وجود دارند نخستین مبردهای مهم آمونیاک و دی‌اکسید سولفور بودند امروزه مبردهای پر رونق هیدروکربنهای هالوژنه که تحت عنوان فریون Freon و یا جناترون Genatron می‌باشند برای مثال (دی کلرو فلوئورومتان $CCl_2F_2$ تحت عنوان فریون 12 و یا جناترون 12)

- دو پارامتر مهم در انتخاب مبرد 1) دمایی که تحت آن سرماسازی طرح می‌شود (دمای سردخانه) و نوع وسایلی که بکار گرفته می‌شود
- نظر به اینکه مبرد در کندانسور و اواپراتور در فاز مخلوط اشباع می‌باشد فشار پایین به مبرد زیاد بودن حجم مخصوص و حجیم شدن اسباب و فشار بالا به مبرد کوچک بودن حجم مخصوص و کوچک بودن اسباب کمک می‌کند ولی مقاوم بودن آنها می‌باشد
- فشار بالا را باید زیر فشار بحرانی طرح نمود

استثنا - برای ایجاد دماهای خیلی پایین می‌توان از سیکلهای دوبل استفاده کرد و یا از یک سیکل با دو مرحله کمپرسور که قسمتی از مبرد در اواپراتور اصلی و قسمت دیگر تحت سرد کردن کندانسور بکار گرفته شود.

- کمپرسورهای رفت و برگشتی برای فشارهای بالا و حجم مخصوص کم و کمپرسورهای سانتریفوژ برای فشارهای پایین و حجم مخصوص بالا مناسبند
- مبردهایی که کاربرد خانگی دارند باید غیر سمی باشند
- مبردها باید از نظر خوردگی - حلالیت با روغن کمپرسور - عایق الکتریکی بودن - عدم تجزیه - قیمت مناسب باشند
- برای یک شرایط دمایی خاص همه مبردها تقریباً ایجاد ضریب عملکرد یکسان می‌نمایند بنابراین باید این پارامتر هم مد نظر باشد (برای سیکلهای کارنو ضریب عملکرد به نوع مبرد و دستگاه بستگی ندارد)

deviation of the actual vapor-compression refregeration cycle from ideal cycle



انحراف سیکل واقعی از سیکل ایده‌آل بدلایل زیر می‌باشد

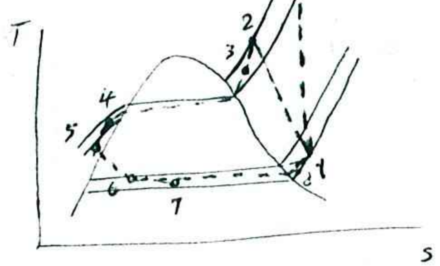
1) اصطکاک تلفات فشار و انتقال حرارت ناخواسته در قسمتهای مختلف (انتقال حرارت به درون یا بیرون)

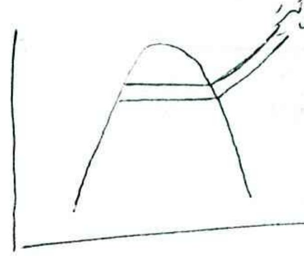
2) بخار ورودی به کمپرسور مقداری سوپرهیت است

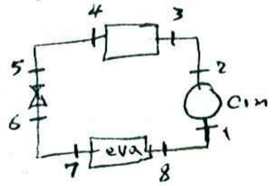
3) فرایند تراکم در کمپرسور برگشت ناپذیر است

4) در حین تراکم از کمپرسور به محیط و یا بالعکس بسته به درجه حرارت محیط و مبرد انتقال حرارت وجود دارد که در حالت اول انتروپی کاهش و در حالت دوم افزایش می‌یابد (فرایند آیزنتروپیک نیست) که در شکل با دو خط چین نشان داده شده اند

5) خروجی از کندانسور مقداری مادون سرد است و در لوله هم داخل کندانسور و شیر انبساط نیز کمی مادون سرد می‌شود که البته این مزیتی محسوب می‌شود چون گرمای بیشتری را در اواپراتور می‌گیرد






مثال 9.7 در سیکل نشان داده شده شرایط نقاط مختلف بشرح زیر بوده از کمپرسور $4\ kJ/kg$ گرما به بیرون نشت می‌کند ضریب عملکرد را بیابید

$P_1 = 125\,kpa \quad T_1 = -10^\circ c \rightarrow h_1 = 185.16$

$P_2 = 1.2\,mpa \quad T_2 = 100^\circ c \rightarrow h_2 = 245.52$

$P_3 = 1.19\,mpa \quad T_3 = 80^\circ c \rightarrow$

$P_4 = 1.16\,mpa \quad T_4 = 45^\circ c$

$P_5 = 1.15\,mpa \quad T_5 = 40^\circ c \rightarrow h = 74.53$

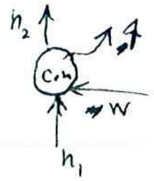
$P_6 = P_7 = 140\,kpa \quad x_6 = x_7 \rightarrow$

$P_8 = 130\,kpa \quad T_8 = -20^\circ c \rightarrow h_8 = 179.12$

$$q_L = h_8 - h_7 = 179.12 - 74.53 = 104.59\ \frac{KJ}{Kg}$$

$$\beta = \frac{q_L}{w_c} = \frac{104.59}{64.36} = 1.625$$

$$h_1 + w_c = q + h_2$$




$$w_c = q + h_2 - h_1$$

$$= 4 + 245.52 - 185.16 = 64.36\ KJ/Kg$$

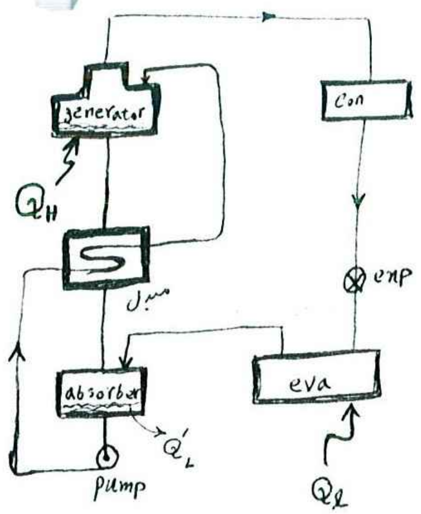
بدون در نظر گرفتن شکل رابطه sss.f را می‌نویسیم و قرارداد را مثبت w و q را یکباری می‌بندیم

$$q + h_i = w_c + h_e$$

$$w_c = q + h_i - h_e$$

$$= (-4) + 185.16 - 245.52 = -64.36$$

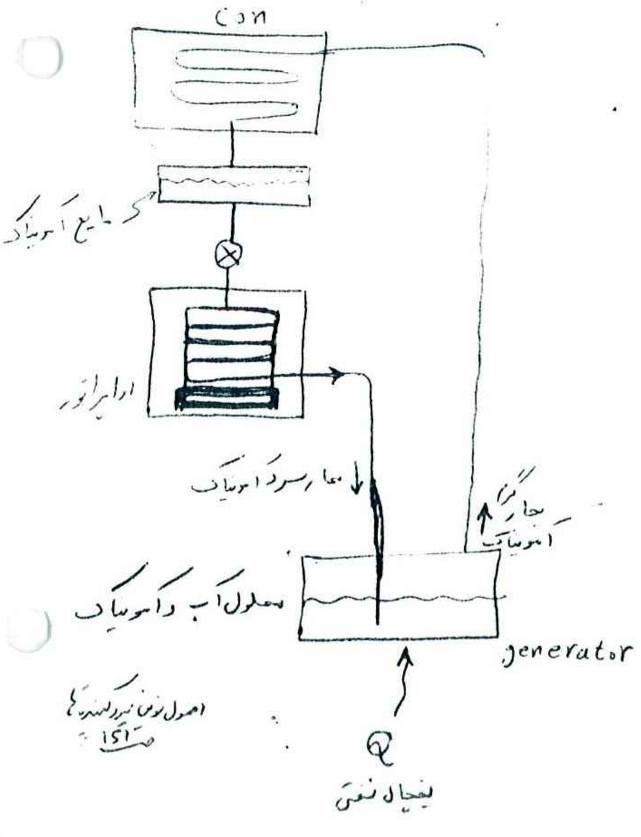
# the ammonia-absorption refrigeration cycle




بخار کم فشار آمونیاک که اواپراتور را ترک می‌کند وارد ابزوربر که حاوی محلول ضعیف آمونیاک (آب و آمونیاک به میزان کم) می‌باشد می‌شود و جذب آن می‌شود در طی این فرایند مقداری گرما به محیط منتقل می‌شود محلول قوی آمونیاک پمپ شده از یک مبدل عبور می‌کند و گرمتر می‌شود و سپس وارد ژنراتور می‌شود فشار ژنراتور بالا بوده و از طریق یک منبع گرم می‌شود و دمای آن بالاست ($100$ تا $200\,^{\circ}C$) در این شرایط حلالیت آب برای آمونیاک کمتر شده آمونیاک به صورت بخار از بالای ژنراتور خارج و وارد کندانسور می‌شود و تقطیر می‌گردد. سپس از یک شیر انبساط عبور و وارد اواپراتور می‌گردد و در آنجا تبخیر می‌شود و گرما می‌گیرد و بخار حاصله به طرف ابزوربر رفته سیکل تکرار می‌گردد آبی که گرم شده و آمونیاک از دست داده از ژنراتور به ابزوربر سرازیر می‌گردد البته در مسیر مقداری با مبدل سرد می‌گردد

این سیکل به دلیل آنکه پمپ بجای کمپرسور نیاز دارد توان کمتری نسبت به سیکل تراکم بخار نیاز دارد ولی یک منبع حرارت نیز باید دائماً گرم شود از این رو در جاهایی که منبع گرم ارزان تمام شود از نظر اقتصادی به صرفه است

چون برای فرایند آیزنتروپیک افزایش فشار $w = \int v\,dp$ و برای مایعات $v$ خیلی کوچکتر از گازها می‌باشد کار لازم برای پمپ‌ها کمتر از کمپرسورها می‌باشد.




اصول فنی سردکننده‌ها ص 151

holman

# سیکل جذبی لیتیم برماید .

نوع دیگر سیکل تبرید که برای سردسازی با دمای نه چندان پایین و نرخ تبرید بالا (حدود $10^6 \frac{Btu}{hr}$ ) بکار می رود و برای هواسازی مناسب است سیکل جذبی لیتیم برماید - آب ( $LiBr - H_2O$ ) می باشد که در آن آب سیال مبرد و لیتیم برماید جذب کننده است

با استفاده از آب بعنوان مبرد اواپراتور باید خلاء شود با فشار مطلق حدود 0.12 psia برای اواپراتور می توان دمای 40°F ایجاد نمود این خلاء معمولاً با اژکتورهای بخار (steam - ejector) ایجاد می شود

اواپراتور و ابزوربر هردو در فشار پایین کار می کنند در نتیجه معمولاً فضای بسته ای را پدید می آورند که بوسیله یک تخلیه کننده (purging) خلاء لازم در محفظه حفظ می شود

کندانسور و جنریتور (generator) هردو طرف فشار بالای سیکل قرار داشته معمولاً در یک پوسته مشترک قرار دارند

در نقطه 6 بخار آب در پوسته پایینی در محلول ضعیف LiBr که از 5 می آید حل شده و انرژی آزاد شده توسط آب خنک کننده گرفته می گردد ( cooling water ) بدین ترتیب محلول قوی بوجود می آید و توسط پمپ 1 به جنریتور پمپ می شود

در جنریتور کوئل بخار محلول قوی را گرم کرده بخار آب آزاد می شود و در طرف بالائی توسط کولینگ واتر کندانس می شود محلول ضعیف بوجود آمده از مسیر 4 و 5 به پوسته پایین منتقل می گردد

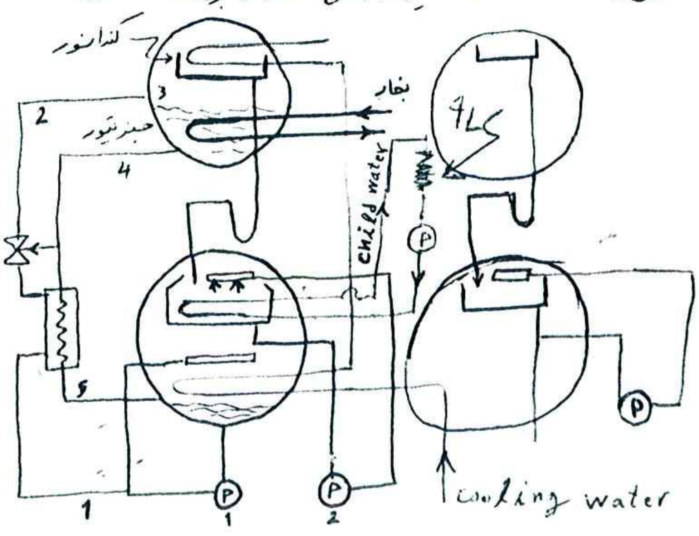
اختلاف فشار بین دو پوسته خیلی کم است برای دمای کندانس 85°F که فشار اشباع متناظر 0.6 psia می باشد و اگر دمای اواپراتور 40°F که فشار اشباع متناظر 0.12 psia می باشد مورد نظر باشد اختلاف فشار .48 = .12 - .6 می شود

آب خنک سرد child water در یک لوله U شکل در اواپراتور که کندانس تهیه شده از پوسته بالائی روی آن مانند کولینگ تاور اسپری می شود تأمین می گردد گرفتن گرما توسط این لوله U شکل فشار اواپراتور ~~را در پایین نگه می دارد~~ و اختلاف کندانسور را حفظ می کنند

جذب سریع در پوسته پایینی فشار آنرا در حد پایین نگه می دارد و در صورت لزوم purge valve نیز این مسئله را تأمین می کند

اسپری از مسیر 6 نیز برای جذب بهتر صورت می گیرد

بخار گرم کننده حدود 210°F بوده و مسیر 4 گرم می باشد و مسیر 1 سرد می باشد و مبدل مانند بازیاب عمل می نماید یعنی سیالی که از ① می آید گرم شده و بعد به جنریتور می رود در نتیجه گرمای کمتری نیاز خواهد داشت شیر سه راهی مقدار برودت را کنترل می کند



ماشینهای زیادی وجود دارد که سیال عامل آنها گاز باشد و در عملی از این ماشینها سیال تغییر ترکیب می‌کند زیرا در حین فرایند احتراق سوخت و هوا تبدیل به محصولات احتراق می‌شوند. به این دسته از موتورها احتراق داخلی گویند

در ماشینهای احتراق خارجی external combustion engine سیال عامل خود تغییر شیمیائی نمی‌یابد بلکه گرمای خود را از محصولات احتراق می‌گیرد مثل توربین بخار.

موتورهای احتراق خارجی تا امروز کاربرد فراوانی نداشته‌اند ولی امروزه به علت توسعه نیروگاههای هسته‌ای و در جهت مقابله با آلودگی هوا به سرعت توسعه می‌یابند

به علت اینکه گاز سیال عامل یک سیکل ترمودینامیکی کامل را طی نمی‌کند (با وجود اینکه یک سیکل مکانیکی طی می‌شود) سیکل موتورهای احتراق داخلی را «سیکل باز» open cycle گویند

- برای آنالیز موتورهای احتراق داخلی می‌توان آنها را با سیکل ترمودینامیکی بسته تقریب زد که به سیکل باز عملی نزدیک است

«سیکل استاندارد هوائی» از جمله این سیکلها تقریبی است که بر اساس فرضیات زیر استوار است

1- یک مقدار ثابت جرم هوا به عنوان سیال عامل که کل سیکل را طی می‌کند در نظر گرفته می‌شود هوا گاز ایده‌آل در نظر گرفته شده (هیچگونه ورود و خروج وجود ندارد)

2- فرایند احتراق با یک فرایند انتقال حرارت از یک منبع خارجی جابجا می‌شود

3- بجای خروج گازها و ورود هوای سرد یک فرایند انتقال حرارت از سیستم دارای گرما در نظر گرفته می‌شود

4- کلیه فرایندها برگشت پذیر داخلی در نظر گرفته می‌شوند

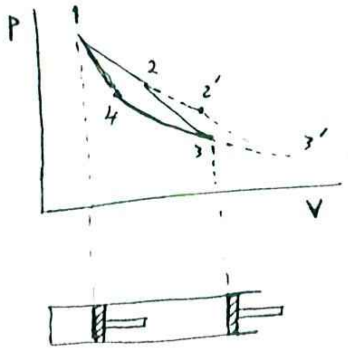
5- ظرفیت گرمائی ویژه هوا ثابت در نظر گرفته می‌شود

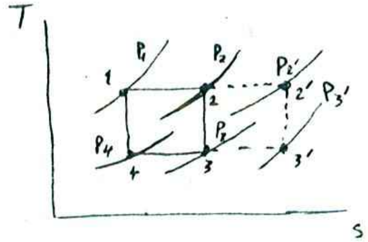
ارزش مطالعه سیکل استاندارد هوائی این است که به صورت کمی تاثیر پارامترها را روی کارائی موتور نشان می‌دهد

نتایجی مانند راندمان و فشار موثر متوسط mean effective pressure (mep) که حاصل می‌شود به مقدار زیادی از مقدار واقعی متفاوت است

mep بنا به تعریف فشاری است که اگر بر پیستون در کل کورس قدرت وارد شود کار انجام شده آن برابر کار واقعی خواهد بود بنابراین حاصل ضرب mep در سطح پیستون (سطحهای سطح میل پیستون در پیستون دو طرفه) در کورس برابر کار یک سیکل خواهد بود

## X the air-standard carnot cycle




این سیکل در دیاگرام T-s و P,V مقابل نشان داده شد

این سیکل هم بوسیله یک مکانیزم رفت و برگشتی و هم بصورت steady قابل اجراست

راندمان حرارتی برای سیکل کارنو برابر است با

$$\eta_{th} = 1 - T_L/T_H = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2}$$

مطابق شکل فرایند 1→4 و 3→2 آیزنتروپیک است بنابراین از روابط داریم

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_4}{T_1}\right)^{K/(1-K)}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{K/(1-K)}$$

$$T_4 = T_3$$

$$T_2 = T_1$$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{P_4} = \frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{K/(1-K)} = r_{ps}$$

isentropic pressure ratio

(نسبت فشار های فوق برابرند)

$$\frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\frac{1}{1-K}}$$

$$\frac{V_4}{V_1} = \left(\frac{T_4}{T_1}\right)^{1/K-1}$$

$$T_4 = T_3$$

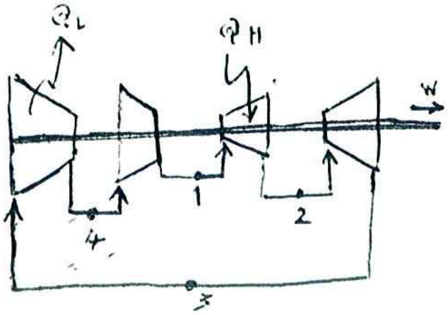
$$T_2 = T_1$$

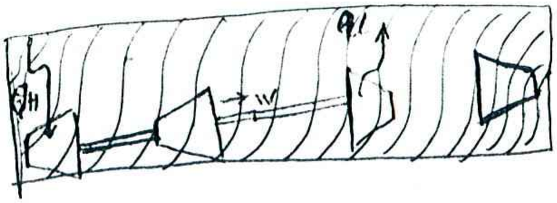
$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{V_4}{V_1} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{1/(1-K)} = r_{vs}$$

(نسبت حجم های فوق برابرند)

isentropic compression ratio

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_3}{T_2} = 1 - r_{ps}^{\frac{1-K}{K}} = 1 - r_{vs}^{(1-K)}$$



- افزایش گرمادهی در دمای ثابت برای موتورهای رفت و برگشتی مطابق شکل منجر به افزایش کورس (تغییر حجم) و در نتیجه کاهش mep می‌شود

- برای سیکل ارکسون استاندارد هوائی که با مقدار انتقال حرارت معمول در هر سیکل اگر کمترین فشار بین 0.1 تا 1MPa باشد احتمال دارد پیستون نتواند بر اصطکاک غلبه نماید

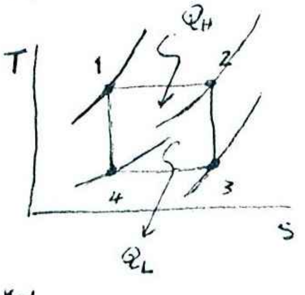
- مشکل دیگری این سیکل که هم در مورد رفت و برگشتی‌ها و هم steady بوجود می‌آید انتقال حرارت در دمای ثابت است چون برای حصول چنین فرایندی سرعت فرایند باید بی‌اندازه کم باشد که در سیکلهای عملی میسر نیست

- این سیکل برای مقایسه سیکلهای هوائی دیگر مفید واقع می‌شود ضمناً می‌توان ایده گرفت که میل دادن سیکلها به سمت این سیکل مفید است

مثال 9.2

در یک سیکل استاندارد هوائی کارنو دمای منبع گرم و سرد به ترتیب $1200\,K$ و $300\,K$ می‌باشد $Q_H = 100\ kJ/kg$ و می‌نیمم فشار سیکل $0.1\ MPa$ می‌باشد با فرض ظرفیت گرمائی ویژه ثابت راندمان و mep را بیابید

$T_1 = T_2 = 1200\ K \qquad T_4 = T_3 = 300\ K$




$P_3 = 0.1\ MPa$

$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{1200} = 0.75$

$W = \eta_{th}\, q_H = 0.75 \times 100 = 75\ kJ/kg$

$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$ رابطه ایزنتروپیک

$w = mep\,(v_3 - v_1)$

$q_H = T_1 (s_2 - s_1) = T_1 \left\{ C_{p0} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \right\}$

$\left(\frac{v_2}{v_3}\right)^{k-1} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow v_2 = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\frac{1}{k-1}} v_3$

$v_3 = \frac{R T_3}{P_3} = \frac{0.287(300)}{0.1 \times 10^3} = 0.861\ m^3/kg$

$v_2 = \left(\frac{300}{1200}\right)^{\frac{1}{1.4-1}} \times 0.861 = 0.0269$

$q_H = T_1 R \ln \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow v_1 = v_2\, e^{-q_H / R T_1}$

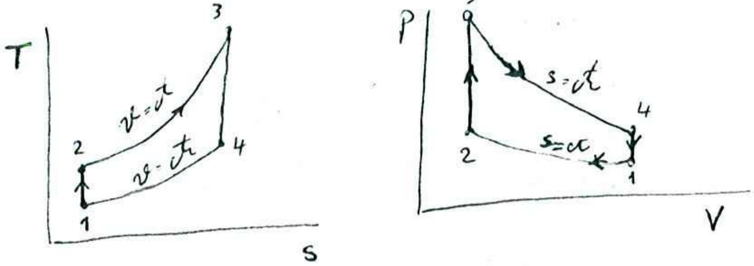
$v_1 = (0.0269)\, e^{-100/0.287 \times 1200} = 0.0201$

$mep = \frac{w}{v_3 - v_1} = \frac{75}{0.861 - 0.0201}$

$mep = 89.2\ kPa$

که نسبت به مقدار معمول در موتورهای نوسانی خیلی کم می‌باشد

سیکل استاندارد هوائی اتو سیکلی است که موتورهای احتراق - جرقه‌ای را تقریب می‌زند این سیکل در شکل نشان داده شده است




$1\to 2$ تراکم آیزنتروپیک (پیستون از نقطه مرگ پایین تا نقطه مرگ بالا حرکت می‌کند)

$2\to 3$ انتقال حرارت حجم ثابت (گرما در لحظه کوتاهی که پیستون در نقطه مرگ بالا است اضافه می‌شود [انفجار])

$3\to 4$ انبساط آیزنتروپیک (حرکت پیستون به نقطه مرگ پایین)

$4\to 1$ انتقال حرارت حجم ثابت (گرما در لحظه کوتاهی که پیستون در نقطه مرگ پایین متوقف است از سیلندر گرفته می‌شود)

$4\to 1$ در موتورهای واقعی مجموع فرایند تخلیه گاز اتلاف و مکش هوای جدید است که ولی در سیکل استاندارد هوای موجود ثابت در نظر گرفته شده و تنها گرمایی از آن داده یا گرفته می‌شود در بالا گفته شد که گرما در نقطه مرگ پایین از سیلندر خارج می‌شود

راندمان حرارتی :

$$\eta_{th}=\frac{Q_H-Q_L}{Q_H}=1-\frac{Q_L}{Q_H}=1-\frac{mC_v(T_4-T_1)}{mC_v(T_3-T_2)}=$$

$$\eta_{th}=1-\frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1}-1\right)}{T_2\left(\frac{T_3}{T_2}-1\right)}$$

می‌توان به صورت زیر نشان داد که عبارت‌های داخل پرانتز مساوی‌اند

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1}$$

$$\frac{T_3}{T_4}=\left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{K-1}$$

$$V_1=V_4$$

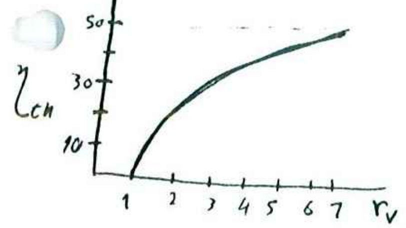
$$V_3=V_2$$

$$\frac{T_2}{T_1}=\frac{T_3}{T_4}\Rightarrow\frac{T_4}{T_1}=\frac{T_3}{T_2}$$

$$\eta_{th}=1-\frac{T_1}{T_2}=1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-K}=1-r_{vs}^{1-K}=1-\frac{1}{r_{vs}^{K-1}}$$

$$=1-\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1}=1-\frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1}}=1-\frac{1}{r_{vs}^{K-1}}$$

خروجی : $3\to 4$ سیال روی پیستون کار انجام می‌دهد و $1\to 2$ پیستون روی سیال کار انجام می‌دهد سطح داخلی دیاگرام P-V کار خالص $W_{net}$ یک سیکل است که می‌توان از رابطه $W_{net}=q_H\,\eta_{th}$ نیز بدست آورد




رابطه بدست آمده نشان می‌دهد که راندمان حرارتی تنها تابع نسبت تراکم است

و با افزایش آن افزایش می‌یابد

در موتورهای واقعی استفاده از چرخه‌ی واقعی نیز این مسئله صادق است ولی

افزایش نسبت تراکم باعث افزایش سرعت سوختن می‌شود (انفجار) که اگر

این مسئله از حدی بیشتر باشد ایجاد موج کرده و باعث زدن موتور می‌شود (کوبش ضربه‌ای)

Spark Knock

denotation انفجار

و از این حیث محدودیت از بالا وجود دارد یعنی تا حدی می‌توان نسبت تراکم

را بالا برد که از زدن موتور اجتناب شود

با فراهم آوردن سوختهایی که دیرتر منفجر می‌شوند می‌توان نسبت تراکم بالاتری را مورد استفاده قرار داد. در این راستا

تلاشهایی شده است از جمله افزودن تترا اتیل سرب به بنزین که موجب آلودگی هوا نیز می‌شود و اخیراً سوختهایی بدون

سرب که دارای مقاومت لازم می‌باشند

سؤال: نسبت تراکم معمول ج 8

بعضی از عوامل انحراف موتورهای استاندارد از موتورهای واقعی استفاده از چرخه‌ای

1 - ظرفیت گرمایی ویژه گازهای واقعی با افزایش دما افزایش می‌یابد

2 - فرایند احتراق با فرایند انتقال حرارت جایگزین شده و احتراق ممکن است غیرکامل (ناقص) هم باشد

3 - هر موتور واقعی دارای ورود و خروج گاز می‌باشد و چون در سوپاپها افت فشار وجود دارد مقداری کار مصرف می‌شود

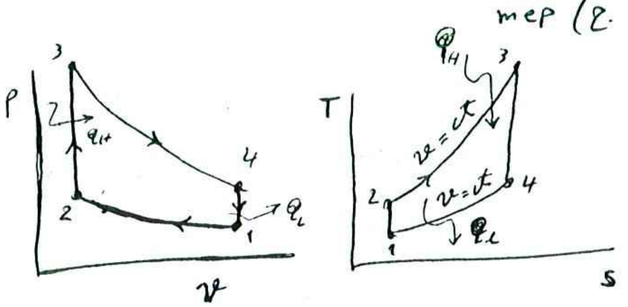
4 - تبادل حرارتی قابل ملاحظه‌ای بین گاز و بدنه سیلندر وجود دارد.

5 - برگشت ناپذیریهائی وجود دارند

## مثال 9.9

نسبت تراکم یک سیکل استاندارد هوائی اتو 8 می باشد در شروع کورس تراکم فشار برابر 0.1 mpa و دما برابر 15°C است
گرمای انتقالی به سیال در هر سیکل 1800 $KJ/kg\ air$ می باشد مطلوبست الف) دما و فشار نقاط سیکل ب) راندمان حرارتی
ج) mep

$$\frac{v_4}{v_3} = \frac{v_1}{v_2} = 8$$




$P_1 = 0.1\,mpa \quad T_1 = 288.15\,°K$

$q_H = 1800\ KJ/kg$

$$v_1 = \frac{R T_1}{P_1} = \frac{.287 \times 288.15}{0.1 \times 10^3} = .827\ m^3/kg$$

$$v_2 = \frac{v_1}{8} = .827/8 = .1034$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{K-1} \Rightarrow \begin{cases} T_2 = 288.15\,(8)^{1.4-1} = 662\ K \\ P_2 = P_1\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^K = 0.1\,(8)^{1.4} = 1.838 \end{cases}$$

$v_3 = v_2 = .1034 \qquad q_H = C_v\,(T_3 - T_2) \Rightarrow 1800 = .7165\,(T_3 - 662)$

$T_3 = 3174\ K \qquad P_3 = \frac{R T_3}{v_3} = \frac{(.287)(3174)}{.1034} = 8813\ KPa$

$v_4 = v_1 = .827$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{K-1} \Rightarrow T_4 = (3174)\left(\frac{1}{8}\right)^{1.4-1} = 1380\ °K$$

$$P_4 = \frac{R T_4}{v_4} = \frac{(.287)(1380)}{.827} = 478.9\ KPa$$

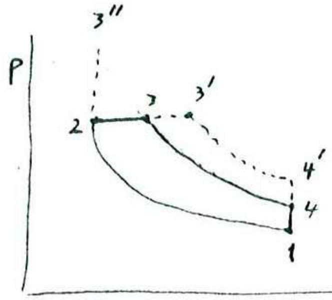
$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r_v^{K-1}} = 1 - \frac{1}{8^{.4}} \times 100 = 56.5\%$$

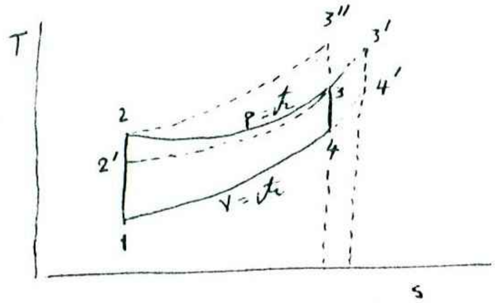
$$W_{net} = q_H\,\eta_{th} = 1800 \times \frac{56.5}{100} = 1017\ KJ/kg$$

$$mep = \frac{W_{net}}{v_4 - v_3} = \frac{1017}{.827 - .1034} = 1406\ KPa$$ که در مقایسه با سیکل کارنو خیلی کمتر است

طی فرایند 4→3 سیال بر پیستون کار انجام می دهد و طی فرایند 2→1 پیستون بر سیال کار انجام می دهد
سطح داخل دیاگرام P-v همان کار خالص است

سیکل هوائی استاندارد دیزل یک سیکل ایده‌آل برای موتورهای دیزل که اشتعال - تراکمی هستند می‌باشد (compression - ignition)




فرایند 1→2 تراکم آیزنتروپیک معادل تراکم هوا در موتور واقعی (حرکت پیستون از پایین تا بالا)

فرایند 2→3 فرایند فشار ثابت انتقال حرارت معادل تزریق سوخت و سوختن آن در موتور واقعی

چون گاز در این فرایند منبسط می‌شود گرمای ناشی از سوختن باید در حدی باشد که فشار را ثابت نگه دارد

فرایند 3→4 فرایند انبساط آیزنتروپیک معادل حرکت پیستون از مرگ بالا تا مرگ پایین

فرایند 2-3 و 3-4 مجموعاً حرکت از مرگ بالا تا پایین است

4→1 فرایند انتقال حرارت (گرمادهی) حجم ثابت معادل (تخلیه گازهای احتراق و مکش هوای تازه)

فرایند 4-1 در سیکل استاندارد معادل دو حرکت سوی بالا (تخلیه) و سمت پایین (مکش) در موتور واقعی است اینکه در سیکل استاندارد اینگونه درنظرگرفته شده که هوا داخل سیلندر همیشه یک جرم خاص را دارا است و تنها انتقال حرارت بصورت گرمادهی یا گرماگیری را دارد

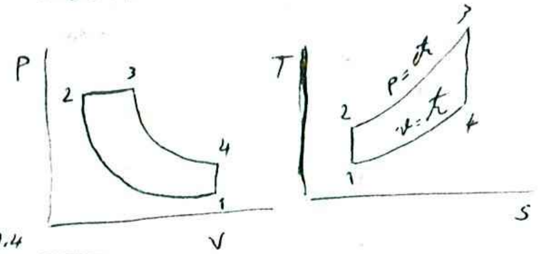
$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{C_v (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)}$$

راندمان حرارتی برای سیکل دیزل استاندارد

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1 (T_4/T_1 - 1)}{T_2 K \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

- در سیکل‌های دیزل نسبت تراکم آیزنتروپیک بیشتر از انبساط آیزنتروپیک می‌باشد
- برای یک نقطه مخصوص قبل از تراکم (نقطه 1) و یک نسبت تراکم مخصوص افزایش ماکزیمم دما مطابق شکل سطح محدود درون خطوط حجم ثابت و فشار ثابت منجر به کاهش راندمان حرارتی می‌گردد طبق منحنی T-s افزایش دما از 3 به 3' منجر به آن می‌شود که مقدار کار افزوده شده از مقدار گرمائی باید افزوده به نسبت قبل کاهش یابد (محدودیت از پایین ماکزیمم دما این است که مقدار کار هر سیکل کاهش می‌یابد)
- مطابق T-s برای دو سیکل اتو و دیزل با نقطه قبل از تراکم یکسان و نسبت تراکم یکسان (جابجائی پیستون یکسان) راندمان اتو بیشتر است ولی بدلیل اینکه در اتو سوخت و هوا باهم تحت فشار متراکم می‌شوند نمی‌توان تراکم را از حد معینی بیشتر کرد چون در این صورت کوبش بوجود می‌آید
- برای دو سیکل اتو و دیزل با ماکزیمم نقطه (فشار و دما) یکسان مطابق شکل T-s راندمان دیزل بیشتر است در این حالت نسبت تراکم دیزل بیشتر از اتو است

مثال ۱۰-۹ یک سیکل استاندارد هوائی دیزل با نسبت تراکم 18 و $q_H = 1800 \frac{kJ}{kg}$ و فشار قبل از تراکم 0.1 mpa و دمای آن $15^\circ C$ در دست است مطلوبست 1- دما و فشار در هر نقطه 2- راندمان حرارتی 3- mep




(1) $\begin{cases} 0.1\,mpa \\ 288.2\,{}^\circ C \end{cases}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 18 \Rightarrow P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k} = 0.1\,(18)^{1.4} = \boxed{5.72\ mpa = P_2}$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{.287 \times 915.8}{5.72 \times 10^3} \qquad \boxed{v_2 = .04595}$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = 288.2\,(18)^{.4} = \boxed{915.8\ {}^\circ K = T_2}$$

$$q_H = C_p(T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{q_H}{C_p} + T_2 = \frac{1800}{1.0035} + 915.8 = \boxed{2710\ {}^\circ K = T_3}$$

$$\boxed{P_3 = P_2 = 5.72\ mpa}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(.287)(288.2)}{0.1 \times 10^3} = .827\ m^3/kg$$

$$\boxed{v_4 = v_1 = .827} \qquad v_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{(.287)(2710)}{5.72 \times 10^3} = .136\ m^3/kg$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = T_3\left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = (2710)\left(\frac{.136}{0.827}\right)^{.4} = 1316\ {}^\circ K$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1316 - 288.2}{1.4\,(2710 - 915.8)} = 0.591 = 59.1\%$$

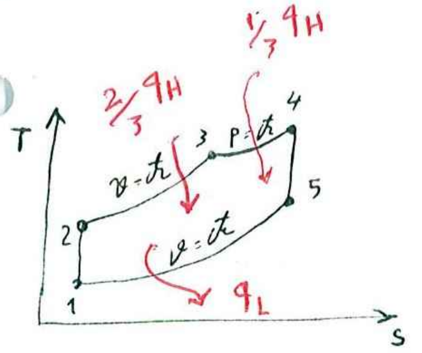
$$w = \eta_{th} \times q_H = 1800 \times \%59.1 = 1063.8$$

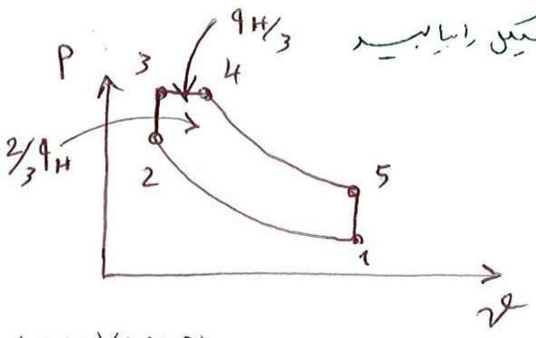
$$mep = \frac{w}{v_4 - v_2} = \frac{1063.8}{.827 - .04595} = 1362\ KPa$$

M94

| مسئله 9.41 جدید |
|---|
| مشابه 9.27 قدیم |
| - 7.61 |

- برای سیکل‌های اتو در واقع امر بخشی از انتقال حرارت در حین پایین رفتن پیستون صورت می‌گیرد. سیکل اتوئی را در نظر بگیرید که $\frac{2}{3}$ انتقال حرارت آن در حجم ثابت و باقی‌مانده در فشار ثابت صورت گیرد. فرض کنید که $q_H$ در این سیکل 2400 $kJ/kg$ باشد و فشار و دما در نقطه ① برابر 100 $kPa$ و $25^\circ C$ باشد راندمان حرارتی این سیکل را بیابید.




$$q_H = 2400\ kJ/kg$$

$$_2q_3 = \frac{2}{3} \times 2400 = 1600\ kJ/kg$$

$$_3q_4 = 800\ kJ/kg$$

$$\begin{cases} P_1 = 100\ kPa \\ T_1 = 25^\circ C = 298.2^\circ K \end{cases} \quad v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(.287)(298.2)}{100} = .8558$$

---

$$\frac{v_1}{v_2} = 10$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{K-1}$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{K-1} = (298.2)(10)^{.4} = 749\ ^\circ K$$

$$\frac{v_1}{v_2} = 10 \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{10} = .08558$$

$$P_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{(.287)(749)}{.08558} = 2511.8\ kPa$$

---

$$_2q_3 = C_v(T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{_2q_3}{C_v} + T_2 = \frac{1600}{.7165} + 749 = 2982\ ^\circ K$$

$$v_3 = v_2 = .08558 \quad P_3 = \frac{RT_3}{v_3} = \frac{(.287)(2982)}{.08558}$$

$$P_3 = 10^4\ kPa$$

---

$$P_4 = P_3 = 10^4\ kPa \quad {}_3q_4 = h_4 - h_3 = C_p(T_3 - T_4)$$

$$T_4 = T_3 + \frac{_3q_4}{C_p} = 2982 + \frac{800}{1.0035} = 3779.2$$

$$v_4 = \frac{RT_4}{P_4} = \frac{(.287)(3779.2)}{10^4} = .1085$$

$$v_5 = v_1 = .8558$$

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{K-1}$$

$$T_5 = (3779.2)\left(\frac{.1085}{.8558}\right)^{.4} = 1654.3$$

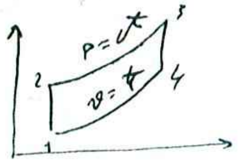
$$q_L = C_v(T_5 - T_1) = .7165(T_5 - T_1) = .7165(1654.3 - 298.2) = 971.7\ kJ$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = \frac{971.7}{2400} = .595$$

M95

تیازمند

- در یک سیکل دیزل نسبت تراکم 15 و $P_1 = 100\ kPa$ و $T_1 = 22^\circ C$ اگر $Q_H$ تا 15٪ کورس برگشتی پیستون ادامه داشته باشد راندمان حرارتی را بیابید




$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = 15^{.4} \Rightarrow \boxed{T_2 = 871.9}$$

$$.15\,(v_1 - v_2) = (v_3 - v_2)$$

$$.15\left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right) = \left(\frac{v_3}{v_2} - 1\right) \Rightarrow v_3/v_2 = 1 + .15(15-1) = 3.1$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(.287)(295.2)}{100} = .8472$$

$$v_2 = \frac{v_1}{15} = .0565 \qquad P_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{(.287)(871.9)}{.0565} = 4429\ KPa$$

$$v_3 = 3.1\,v_2 = .1751$$

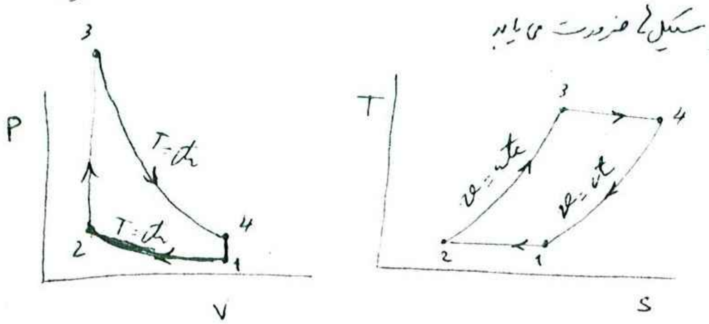
$$P_3 = P_2 = 4429\ KPa \rightarrow \frac{T_3}{v_3} = \frac{T_2}{v_2} \Rightarrow T_3 = (.1751)\left(\frac{871.9}{.0565}\right) = 2702.1\ ^\circ K$$

$$\left(\frac{T_3}{T_4}\right) = \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\,\frac{v_2}{v_3}\right)^{k-1} =$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_2}\,\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{3.1}{15}\right)^{.4} \Rightarrow T_4 = 1438$$

~~$q_L = c_v$~~ $$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1438 - 295.2}{(1.4)(2702.1 - 871.9)} = .554$$

این دو سیکل بصورت خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد چون کاربرد چندانی ندارد ولی از جهت آنکه نشان داده می‌شود که چگونه بکارگیری بازیاب موجب افزایش راندمان می‌شود مطالعه این سیکل‌ها ضرورت می‌یابد




سیکل استرلینگ :

(ضرورت مطلع شدن ندارد !!)

~~تراکم دما ثابت~~ 1→2

2-3 - انتقال حرارت حجم ثابت (گرماگیری)

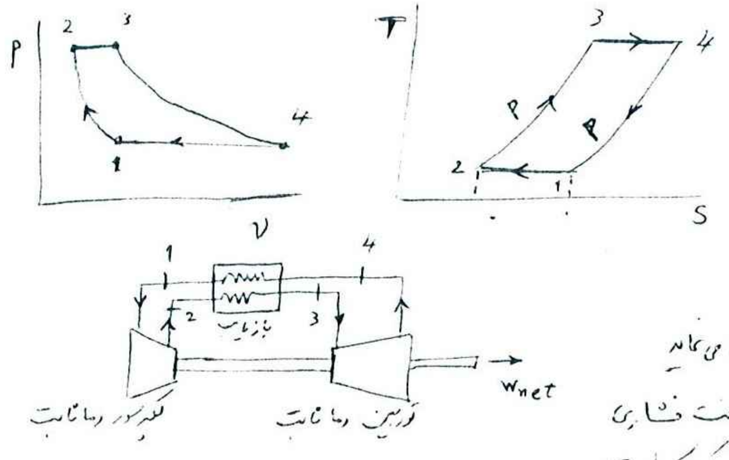
3-4 انتقال حرارت دما ثابت (گرماگیری)

4→1 انتقال حرارت حجم ثابت (گرمادهی)

1→2 انتقال حرارت دما ثابت (گرمادهی)

اهمیت این سیکل در بازیاب‌ها می‌باشد که متعاقباً بحث خواهد شد

سیکل اریکسون :




تنها تفاوتش با استرلینگ این است که فرایندهای حجم ثابت انتقال حرارت با فشار ثابت عوض می‌شود

سیستم شکل مقابل در یک سیکل اریکسون عمل می‌نماید

فرض بر آن است در داخل بازیاب هیچگونه افت فشاری وجود نداشته و اختلاف دمای دو جریان بسیار کوچک است و فرایند انبساط و تراکم برگشت پذیر می‌باشد

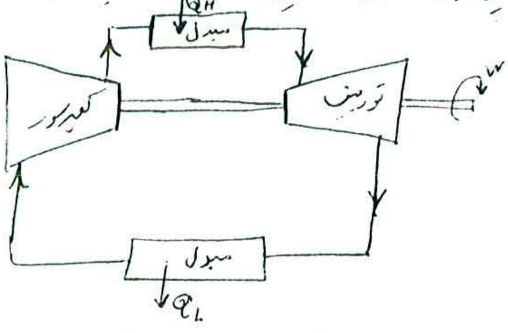
با توجه به اینکه تبادل گرمای 1→4 و 2→3 در مبدل بوده و مساوی است بنابراین گرمای $q_H$ که از خارج به سیکل اعمال می‌شود مطابق شکل T-S سطح زیر 3-4 و $q_L$ سطح زیر 2→1 می‌باشد این دو انتقال حرارت چون در دمای ثابت صورت می‌گیرند (یعنی منبع گرم و سرد انتقال حرارت دما ثابت دارند) بنابراین با سیکل کارنو که بین همان دو دما کار می‌کند دارای راندمان ~~xx~~ یکسان می‌باشند

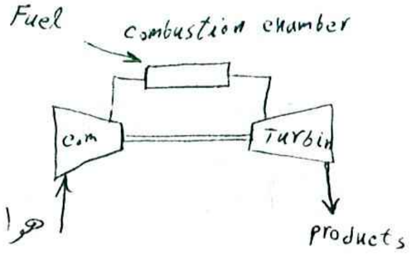
- مشکلات عملی در دست یابی به چنین سیکلی - وجود افت فشار در بازیاب - وجود اختلاف دما برای انتقال حرارت با سرعت متناسب - مشکل بودن فرایند انبساط و تراکم دما ثابت (اینها به سرعت بسیار کم می‌شود) می‌باشد

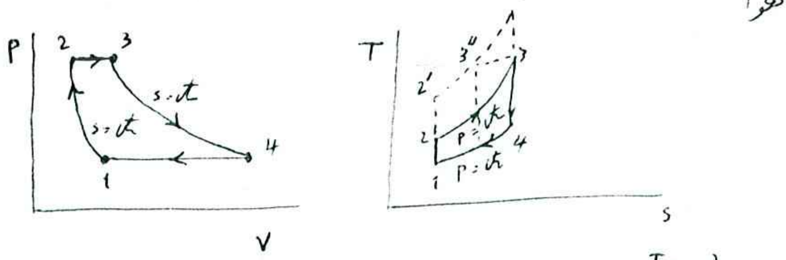
- با استفاده از بازیاب در سیکل‌های توربین گاز سعی می‌شود که سیکل‌ها را به سمت این سیکل میل دهند

# the bryton cycle

این سیکل برای توربین گاز یک سیکل استاندارد محسوب می‌شود سیکل باز عملی و سیکل استاندارد توربین گاز بصورت شماتیک در شکل نشان داده شده‌اند




راندمان حرارتی :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2\left(T_3/T_2 - 1\right)}$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{T_3}{T_4} &= \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \\ \frac{T_2}{T_1} &= \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1} \longrightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

$P_2 = P_3$

$P_4 = P_1$

همانطور که از رابطه پیداست با افزایش نسبت فشار راندمان افزایش می‌یابد

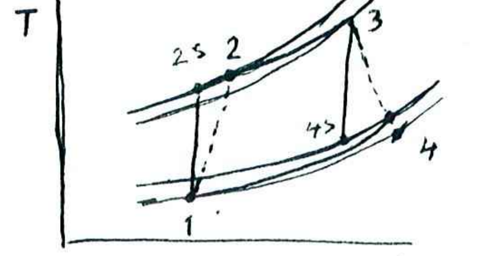
در T-s نیز دیده می‌شود با افزایش 2 به '2 مقدار $q_L$ تغییر نکرده ولی $q_H$ افزایش می‌یابد

اما این مستلزم افزایش دمای ماگزیمم از 3 به '3 است که بعلت متالورژیکی مشکلاتی بوجود می‌آورد

اگر با افزایش نسبت فشار فرایند تا نقطه "3 که دارای همان دمای ماگزیمم سیکل اولیه است ادامه یابد راندمان افزایش می‌یابد ولی کار بر واحد جرم کاهش می‌یابد چرا؟

با پیشرفت و توسعه راکتورهای اتمی سیکل بسته توربین گاز کاربرد وسیع‌تری یافته گرما از واکنش هسته‌ای مستقیماً و یا با یک سیال واسطه به سیال کاری عامل داده می‌شود و در منبع سرد گرما را به محیط می‌دهد

انحراف سیکل واقعی توربین گاز از سیکل استاندارد 1) برگشت ناپذیری در کمپرسور و توربین 2) افت فشار در مسیر جریان در اتاق احتراق (و یا در مبدل سیکل بسته)




دیاگرام T-s کار توربین گاز واقعی در شکل نشان داده شده است

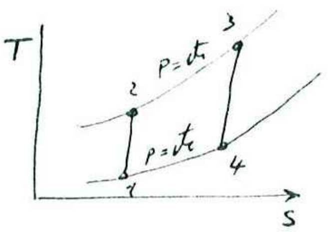
راندمان آدیاباتیک برای کمپرسور و توربین بصورت زیر تعریف می‌شود

$$\eta_{com} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \qquad \eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

- برای یک فرایند برگشت پذیر پمپ و کمپرسور مقدار کار از رابطه $\int v\,dp$ - بدست می‌آید از این رو در توربین گاز که سیال عامل گازی باشد در مقایسه با پمپ سیکل رانکین مقدار کار خالص $w = w_t - w_c$ بعلت بزرگ بودن $v$ کم می‌باشد پمپ تنها 1 تا 2 درصد کار تولیدی توربین ولی کمپرسور حدود 40 تا 80٪ کار توربین را مصرف می‌کند از این رو اگر راندمان کمپرسور و توربین به حدود 60٪ برسد کار خروجی صفر و توربین هر چه تولید می‌کند کمپرسور مصرف خواهد کرد

## مثال 9.11

در یک سیکل هوائی استاندارد برایتون هوا با ( P = 0.1 mpa    T = 15°C ) وارد کمپرسور می‌شود فشار خروجی کمپرسور 1 mpa و ماکزیمم دمای سیکل 1100°C می‌باشد مطلوبست فشار و دمای نقاط سیکل - کار کمپرسور و توربین - راندمان سیکل




① $\begin{cases} 0.1\ \text{mpa} \\ 15°C = 288.2\ °K \end{cases}$

$P_2 = 1\ \text{mpa} \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_2 = 288.2\left(\frac{1}{0.1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 556.8$

② $\begin{cases} 1\ \text{mpa} \\ 556.8\ °K \end{cases}$

③ $\begin{cases} T_3 = 1100°C = 1373.2\ °K \\ P_3 = P_2 = 1\ \text{mpa} \end{cases}$

④ $\begin{cases} P_4 = P_1 = 0.1\ \text{mpa} \\ T_4 = T_3\left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1373.2\left(\frac{0.1}{1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 710.8\ K \end{cases}$

$w_c = h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1) = 1.0035(556.8 - 288.2) = 269.5\ \text{KJ/kg}$

$w_t = h_3 - h_4 = c_p(T_3 - T_4) = 1.0035(1373.2 - 710.8) = 664.7\ \text{KJ/kg}$

$w_{net} = w_t - w_c = 664.7 - 269.5 = 395.2\ \text{KJ/kg}$

$q_H = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2) = 1.0035(1373.2 - 556.8) = 819.3\ \text{KJ/kg}$

$q_L = h_4 - h_1 = c_p(T_4 - T_1) = 1.0035(710.8 - 288.2) = 424.1\ \text{KJ/kg}$

$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{395.2}{819.3} = 48.2\%$

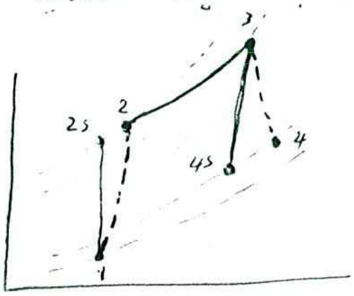
or

$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{(P_2/P_1)^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{10^{.286}} = 48.2\%$

هوای ورودی به کمپرسور در یک توربین گاز (15°c 0.1mpa) می‌باشد (مشابه مثال قبل) و فشار خروجی 1mpa و دمای [illegible] 1100°c می‌باشد. راندمان کمپرسور 80% و راندمان توربین 85% و افت فشار بین کمپرسور و توربین 15kpa می‌باشد.

مطلوب است کار کمپرسور - کار توربین - راندمان کلی

(1) $\begin{cases} 0.1mp \\ T = 288.2\ °K \end{cases}$ $\quad \eta_c = \dfrac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \dfrac{c_p(T_{2s} - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)}$




$$T_{2s} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} T_1 = 288.2\left(\frac{1}{0.1}\right)^{.286} = 556.8$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_c} = 288.2 + \frac{556.8 - 288.2}{0.8}$$

(2) $\begin{cases} T_2 = 624\ °K \\ P_2 = 1\ mpa \end{cases}$

(3) $\begin{cases} P_3 = P_2 - .015 = 1 - .015 = .985\ mpa \\ T_3 = 1100°c \end{cases}$

$$T_{4s} = T_3\left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = (1373.2)\left(\frac{0.1}{0.985}\right)^{.286} = 713.9\ K$$

از افت فشار 4 ← 1 در مسئله صحبتی به میان نیامده ناچیز در نظر گرفته می‌شود

$$\eta_t = \frac{c_p(T_3 - T_4)}{c_p(T_3 - T_{4s})} \Rightarrow T_4 = T_3 - \left[\eta_t(T_3 - T_{4s})\right] = 1373.2 - 0.85(1373.2 - 713.9)$$

(4) $\begin{cases} T_4 = 812.8 \\ P_4 = 0.1 \end{cases}$ $\quad w_t = c_p(T_3 - T_4) = 1.0035(1373.2 - 812.8) = 562.4\ kJ/kg$

$$w_c = c_p(T_2 - T_1) = 1.0035(624 - 288.2) = 337\ kJ/kg$$

$$w_{net} = w_t - w_c = 225.4$$

$$q_H = c_p(T_3 - T_2) = 751.8\ kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{225.4}{751.8} = 30\%$$

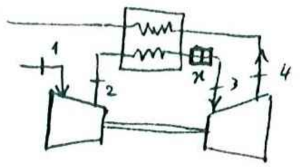
رابطه راندمان برحسب $\frac{P_2}{P_1}$ در اینجا صدق نمی‌کند

مقایسه 9.11 و 9.12

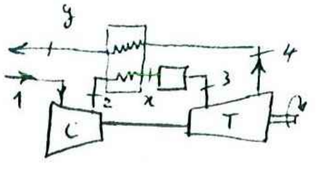
| | $w_c$ | $w_t$ | $w_{net}$ | $q_H$ | $\eta_{th}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| سیکل ایده‌آل | 269.5 | 664.7 | 395.2 | 819.3 | 48.2 |
| سیکل واقعی | 337.5 | 562.4 | 225.4 | 751.8 | 30 |

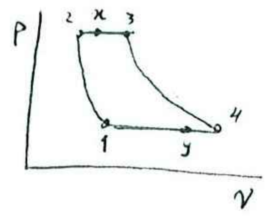
بعلت برگشت ناپذیری کار کمپرسور افزایش و توربین کاهش یافته و متعاقباً کار خالص از دو طرف کاهش یافته شدیداً نزول کرده است در ایده‌آل 41% تولیدی توربین صرف کمپرسور ولی در واقعی 60% است بطورکلی در توربین گاز کار مصرفی کمپرسور که back-work نامیده می‌شود زیاد است

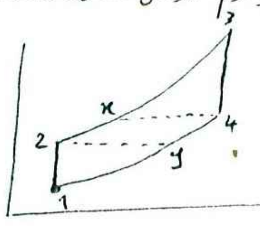
the simple Gas turbine with regenerator



راندمان سیکل برایتون توربین گاز ایده‌آل را با بازیاب بهبود بخشید
شماتیک سیستم و دیاگرام در شکل نشان داده شده.

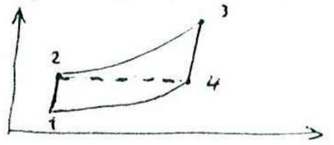






در حالتیکه مبدل ایده‌آل باشد $T_4 = T_x$ و $T_2 = T_y$ خواهد بود با بهره‌گیری از بازیاب $q_H$ (مورد نیاز) به اندازه سطح زیر $2-x$ کاهش می‌یابد و $q_L$ که باید هدر رود نیز به اندازه سطح زیر $4-y$ که برابر همان سطح زیر $2-x$ است کمتر هدر می‌رود و راندمان افزایش می‌یابد

اگر نسبت فشار افزایش یابد ممکن است خروجی توربین دیگر داغ‌تر از خروجی کمپرسور نباشد در این صورت وجود بازیاب تأثیری نخواهد داشت



راندمان سیکل:

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{w_t - w_c}{q_H}$$

$$\begin{cases} q_H = c_p(T_3 - T_x) \\ q_t = c_p(T_3 - T_4) \end{cases} \Rightarrow$$

برای حالت ایده‌آل مبدل $T_x = T_4$ و کار توربین با $q_H$ برابر خواهد شد

$$\eta_{th} = \frac{w_t - w_c}{w_t} = 1 - \frac{w_c}{w_t} = 1 - \frac{c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_4)}$$

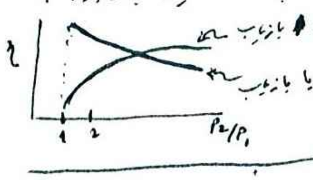
$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)}{T_3\left(1 - T_4/T_3\right)} = 1 - \frac{T_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]}{T_3\left[1 - \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} = 1 - \frac{T_1}{T_3}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

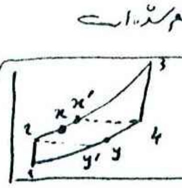
$\frac{P_4}{P_3} = \frac{P_1}{P_2}$

$$\frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^a - 1}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^a} = \frac{\frac{P_2^a - P_1^a}{P_1^a}}{\frac{P_2^a - P_1^a}{P_2^a}} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^a$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_3}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

بنابراین برای سیکلهای با بازیاب راندمان علاوه بر نسبت فشار به نسبت دمای ماکزیمم و مینیمم هم بستگی دارد برخلاف سیکل بدون بازیاب با افزایش نسبت فشار راندمان کاهش می‌یابد نمودار برای $T_1/T_3 = 0.25$ در شکل رسم شده است



راندمان بازیاب:

$$\eta_{reg} = \frac{h_x - h_2}{h'_x - h_2} = \frac{T_x - T_2}{T'_x - T_2} = \frac{T_x - T_2}{T_4 - T_2}$$

با مبدل حجیم‌تر (با سطح انتقال حرارت بیشتر) و گران
راندمان $\eta_{reg}$ را افزایش داد ولی عامل محدودکننده هزینه و همچنین افزایش افت فشارها باشد که راندمان را از یک طرف کاهش می‌دهد

## مثال: 9.13

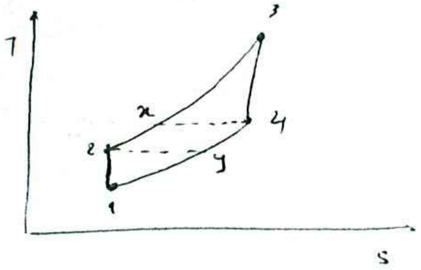
در یک سیکل استاندارد هوائی برایتون هوا ( 0.1 MPa 15°C ) وارد کمپرسور می‌شود و با فشار 1 MPa از آن خارج می‌شود دمای ماگزیمم 1100°C می‌باشد یک بازیاب ایده‌آل در این سیکل بکار گرفته شده راندمان حرارتی را بیابید

توضیح: این مسئله دقیقاً مثال 9.11 می‌باشد که تنها بازیاب ایده‌آل به آن اضافه شده است

① $\begin{cases} 0.1\ MPa \\ 15°C = 288.2\ °K \end{cases}$

$P_2 = 1\ MPa \qquad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 556.8$

② $\begin{cases} 1\ MPa \\ 556.8\ K \end{cases}$




③ $\begin{cases} 1\ MPa \\ T_3 = 1100°C \end{cases}$

④ $\begin{cases} P_4 = P_1 = .1\ MPa \\ T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 710.8\ K \end{cases}$

چون اطلاعات داده شده مسئله با مثال 9.11 دقیقاً یکی است دمای نقاط سیکل هم هیچ تفاوتی با آن ندارد تنها $q_H$ و $q_L$ تغییر می‌کنند حتی $w_t$ و $w_c$ نیز مقدارشان تغییری نمی‌کند

$$w_{net} = w_t - w_c = c_p\left[(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)\right] = 395.2\ kJ/kg$$

$$q_H = c_p(T_3 - T_x) = 1.0035(1373.2 - 710.8) = 664.7\ kJ/kg$$

$$T_x = T_4$$

$$\eta_{th} = w_{net}/q_H = \frac{395.2}{664.7} = 59.4\%$$

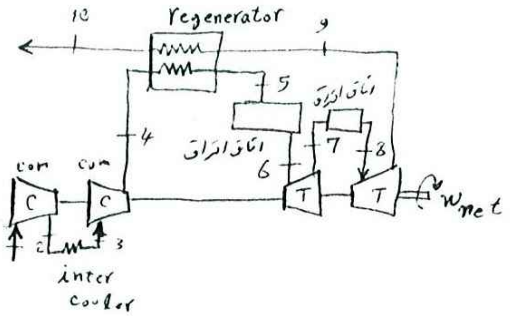
که در مثال 9.11 راندمان حرارتی 48.2% بدست آمده بود

دقت اینکه یکسان بودن دما و فشار در چهار نقطه را خود مسئله تحمیل کرده است یعنی اگر در همان ترکیب مثال 9.11 بازیاب بکار گرفته شود اطلاعات دیگر در مورد چهار نقطه یکسان نیست. تغییر فنی که باید ایجاد شود این است که وقتی بازیاب استفاده می‌شود در اتاق احتراق مقدار سوخت کمتری سوزانده شود تا دمای ماگزیمم همان مقدار قبلی بماند

## 9.17 سیکل ایده‌آل توربین گاز با تراکم چند مرحله‌ای با میان‌سردکن و انبساط چندمرحله‌ای با بازگرمایش و بازیاب

در مباحث گذشته مطرح شد که اگر یک بازیاب ایده‌آل در سیکل اریکسون بکار گرفته شود راندمان برابر راندمان کارنو در همان شرایط (منابع) خواهد بود و همچنین آنکه ایجاد یک فرایند تراکم و یا انبساط دما ثابت هرگز نیز عملی نیست

برای نزدیک شدن به چنین سیکلی می‌توان از تراکم چندمرحله‌ای با میان‌سردکن و انبساط چندمرحله‌ای با بازگرمایش و یک بازیاب بهره گرفت

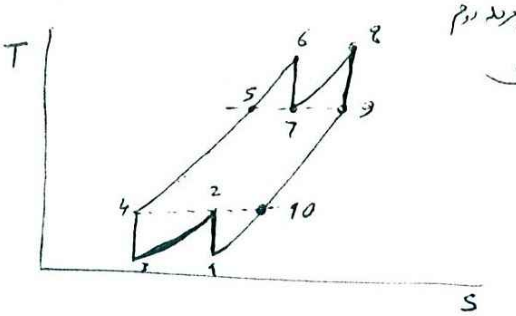



شکل یک دومرحله‌ای را نشان می‌دهد

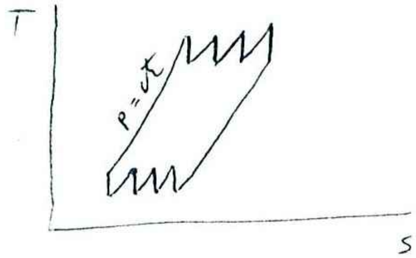
می‌توان نشان داد که ماکزیمم راندمان زمانی بدست می‌آید که نسبت فشار برای دو مرحله تراکم (و همچنین انبساط) یکسان باشد

در این سیکل ایده‌آل فرض بر آن است که دمای خروجی از میان‌سردکن (ورودی به مرحله دوم تراکم) برابر دمای ورودی به طبقه اول است همچنین دمای بعد از بازگرمایش (ورودی به توربین مرحله دوم) برابر ورودی توربین مرحله اول است

همچنین دمای $T_5 = T_9$ یعنی بازیاب ایده‌آل است




اگر چند مرحله تراکم و انبساط صورت گیرد سیکل سمت اریکسون میل می‌کند (شکل مقابل) به دلایل اقتصادی محدود کننده در عمل از دو یا سه مرحله بیشتر استفاده نمی‌شود




دو آرایش سیکل بسته دو مرحله‌ای در کتاب نشان داده شده است آرایشهای مختلفی وجود دارد که خارج از بحث کتاب می‌باشد

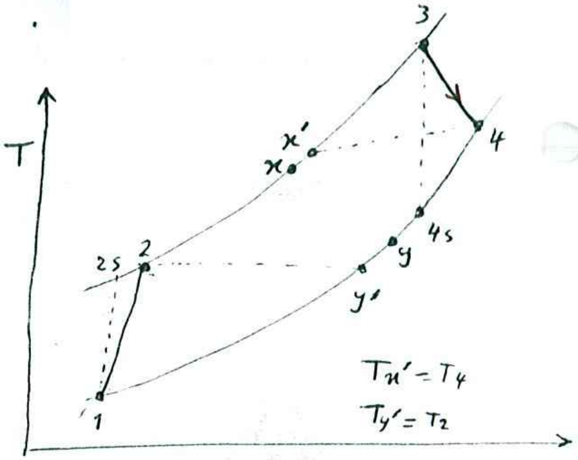
M 93

$\eta_c = .85 \quad \eta_t = .87 \quad \eta_{reg} = .75$

$W_{net} = 20\ MW$

$T_1 = 290\ K$
$P_1 = 95\ KPa$

$T_3 = 1500\ K$
$P_3 = 950\ KPa$




$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{.286} \Rightarrow T_{2s} = (290)\left(\frac{950}{95}\right)^{.286} = 560.27$$

$$\eta_c = \frac{w_i}{w_a} = \frac{T_{2s}-T_1}{T_2-T_1} \Rightarrow T_2 = T_1 + \frac{(T_{2s}-T_1)}{\eta}$$

$$T_2 = (290) + \frac{560.27-290}{.85} = 607.97$$

$$\frac{T_{4s}}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{.286} \Rightarrow T_{4s} = 1500\left(\frac{95}{950}\right)^{.286} = 776.4$$

$$\eta_T = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \Rightarrow T_4 = T_3 - \eta_T (T_3 - T_{4s})$$

$$T_4 = 1500 - (.87)(1500 - 776.4) = 870.5$$

---

$$\eta_{reg} = \frac{T_x - T_2}{T_{x'} - T_2} \Rightarrow T_x = T_2 + \eta_{reg}(T_{x'} - T_2)$$

$$T_x = 607.97 + (.75)(870.5 - 607.97) = 804.86$$

---

$$w_{net} = w_t - w_c = C_p\left[(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)\right] = 1.0035\left[-870.5 + 1500 - 607.97 + 290\right]$$

$$w_{net} = 312.62 \qquad W_{net}/w_{net} = \dot m = \frac{20 \times 10^3}{312.62} = 63.975\ kg/s$$

$$W_T = \dot m\, w_t = 63.975(1500 - 870.5)(1.0035) = 40413.2\ KW$$

$$W_c = 40413.2 - 20000 = 20413.2 \qquad \frac{W_c}{W_T} = \frac{20413.2}{40413.2} = .505$$

---

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{312.62}{1.0035(1500 - 804.86)} = .448$$

---

$$\dot I = \sum \dot m_e T_0 s_e - \sum \dot m_i T_0 s_i - \dot Q_{c.v}$$

$$\dot i = \sum T_0 s_e - \sum T_0 s_i = T_0 (s_e - s_i)$$

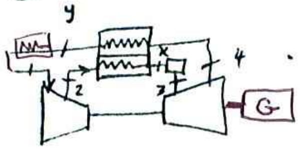
$$\dot i = T_0\left(C_p \ln\frac{T_e}{T_i} - R \ln\frac{P_e}{P_i}\right)$$

برای کمپرسور
$$\dot i_{c.n} = 298\left[1.0035 \ln\left(\frac{607.97}{290}\right) - (.287)\ln\left(\frac{950}{95}\right)\right]$$

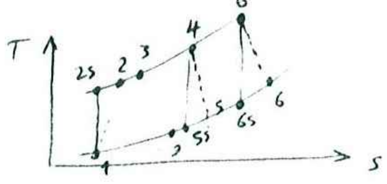
$$= 24.436\ \frac{KJ}{Kg}$$

53- خروجی توربین گاز یک ژنراتور 20MW را تامین می‌کند سیکل نسیم فشار ورودی 950KPa و 1500°K و دمای نسیم 95KPa و 290°K می‌باشد

اگر $\eta_{reg} = .75 \quad \eta_c = .85 \quad \eta_t = .87$ باشد راندمان حرارتی و بازگشت ناپذیری برای هوا آن را بیابید



M96




① $\begin{cases} P = 1\,bar \\ T = 290^\circ K \end{cases}$

$$\left(\frac{T_{2s}}{T_1}\right) = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_{2s} = T_1\left(\frac{4}{1}\right)^{\frac{.4}{1.4}} = 430.93$$

$$\eta_{is} = \frac{C_P(T_{2s} - T_1)}{C_P(T_2 - T_1)} \Rightarrow \frac{W_{is}}{W_a}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta} = 290 + \frac{430.93 - 290}{.75} = 477.9$$

$$\frac{T_{5s}}{T_4} = \left(\frac{P_5}{P_4}\right)^{\frac{.33}{1.33}} \Rightarrow T_{5s} = (1030)\left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{.33}{1.33} = .286} = 730.22$$

$$\eta_{is} = \frac{W_a}{W_i} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_{5s}} \Rightarrow T_5 = T_4 - \eta_{is}(T_4 - T_{5s})$$

$$T_5 = 1030 - .8(-730.22 + 1030) = 790.170\ K$$

$$\left(\frac{T_{7s}}{T_6}\right) = \left(\frac{P_7}{P_6}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_{7s} = 1060\left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{.33}{1.33}} = 751.5$$

$$\eta_{is} = \frac{T_6 - T_7}{T_6 - T_{7s}} \Rightarrow T_7 = 1060 - .75(1060 - 751.5)$$

$$T_7 = 828.62\ K$$

$$W_B = \dot{m}_B (T_6 - T_7) C_{pg} \Rightarrow 1470 = \dot{m}_B (1.15)(1060 - 828.62)$$

$$\dot{m}_B = 5.524\ kg/s$$

$$W_A = W_c \Rightarrow W_A \neq W_c$$

$$\dot{m}_a C_{pg}(T_4 - T_5) = (\dot{m}_a + \dot{m}_B)[C_{pa}(T_2 - T_1)]$$

$$\dot{m}_a (1.15)(1030 - 790.176) = (\dot{m}_a + 5.524)(1.0035)(477.9 - 290)$$

$$275.8\,\dot{m}_a = (\dot{m}_a + 5.524)(188.56)$$

$$\dot{m}_a = 11.94\ kg/s$$

$$\dot{m}_a h_5 + \dot{m}_b h_7 = (\dot{m}_a + \dot{m}_b) h_8$$

8 ← → 5, 7

$$\dot{m}_a C_{pg} T_5 + \dot{m}_b C_{pg} T_7 = (\dot{m}_a + \dot{m}_b) C_{pg} T_8$$

$$(11.94)(790.176) + (5.524)(828.62) = (11.94 + 5.524)\,T_8$$

$$T_8 = 802.3$$

نیازمند

Regenerator

$$h_8 - h_9 = h_3 - h_2$$

$$C_{pg}(T_8 - T_9) = C_{pa}(T_3 - T_2)$$

$$(1.15)(802.3 - 720) = 1.0035(T_3 - 477.9)$$

$$T_3 = 572.2\ K$$

$$Q = \dot{m}_a(h_4 - h_3) + \dot{m}_b(h_6 - h_3)$$

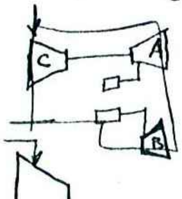
$$\simeq Q = \dot{m}_a C_{pg}(T_4 - T_3) + \dot{m}_b (C_{pg})(T_6 - T_3)$$

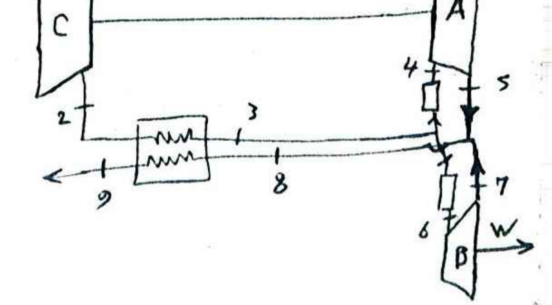
$$= 9309\ KJ/s$$

$$\eta_{combussion} = 100\% \qquad \dot{m}_f = \frac{Q}{\eta \times FHV}$$

$$\dot{m}_f = \frac{9309}{1 \times 41800} = .2227\ kg/s$$

مطابق شکل یک نیروگاهی دارای دو اتاق احتراق و دو توربین A و B می باشد هوا با فشار 1bar و دمای 290°K وارد کمپرسور C می شود و تا فشار 4bar متراکم می شود راندمان کمپرسور 75٪ است هوا بعد از کمپرسور وارد یک بازیاب می شود بخشی از هوا از اتاق احتراق $C_1$ گذشته و با دمای 1030 وارد توربین A می شود راندمان آیزنتروپیک توربین 80٪ است و فشار خروجی یک بار می باشد بقیه هوا از اتاق احتراق $C_2$ گذشته و با دمای 1060 وارد توربین B که خروجی آن یک بار و راندمان آن 75٪ می باشد می شود کار توربین B برابر 1470KW می باشد گازهای خروجی هر دو توربین وارد مبدل حرارتی می شود دمای این گازها در خروجی از مبدل برابر با 720°K است در صورتیکه FHV = 41800 kJ/kg باشد مصرف را یافته نمودار Ts را رسم کنید



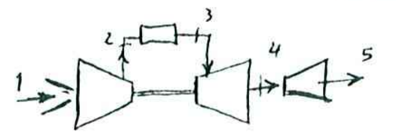



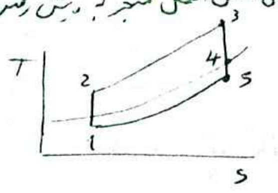
the air-standard cycle for jet prepulsion
پیشرانه

**9.18**

سیکل استاندارد هوایی برای پیشرانه جت

در این سیکل کار توربین دقیقاً برابر مصرف کمپرسور باشد فشار خروجی از توربین از فشار محیط بالاتر بوده و گاز در یک نازل منبسط می‌شود گاز سرعت می‌گیرد و نیروی مومنتم عکس‌العمل منجر به پیش رفتن موتور می‌گردد




مثال 9.14 هوای (0.1 MPa 15°C) وارد کمپرسور شده با فشار 1 MPa کمپرسور را ترک می‌کند. ماکزیمم دما 1100°C می‌باشد هوا در توربین تا اندازه‌ای منبسط می‌شود که کار لازم برای کمپرسور را تامین نماید در خروج توربین هوا در یک نازل طی یک فرایند آنتروپیک تا فشار 0.1 MPa منبسط شود سرعت هوای خروجی را بیابید

اطلاعات مانند مثال 9.11 است بنابراین با استفاده از اطلاعات قبلی

① $\begin{cases} 0.1\ \text{MPa} \\ 288.2\ \text{K} \end{cases}$

② $\begin{cases} 1\ \text{MPa} \\ 556.8\ \text{K} \end{cases}$

$W_c = 269.5\ \text{kJ/kg}$

③ $\begin{cases} 1\ \text{MPa} \\ 1373.2 \end{cases}$

④ $\begin{cases} W_t = W_c = C_p(T_3 - T_4) = 269.5 \Rightarrow T_4 = 1104.6 \\ P_4 = \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{\frac{k}{k-1}} \times P_3 = \left(\frac{1104.6}{1373.2}\right)^{\frac{k}{k-1}} \times 1 = 0.4668\ \text{MPa} \end{cases}$

⑤ $\begin{cases} P_5 = 0.1\ \text{MPa} \\ T_5 = T_4\left(\frac{P_5}{P_4}\right)^{\frac{k}{k-1}} = (1104.6)\left(\frac{0.1}{0.4668}\right)^{\frac{1.4}{0.4}} = 710.8 \end{cases}$

قانون اول $h_4 = h_5 + \frac{V_5^2}{2} \Rightarrow C_p(T_4 - T_5) = \frac{V_5^2}{2}$

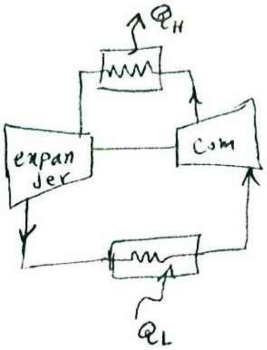
$$V_5 = \sqrt{2C_p(T_4 - T_5)} = \sqrt{2(1.0035)(1104.6 - 710.8)}$$

$$= 889\ \text{m/s}$$

# the air standard refrigration cycle

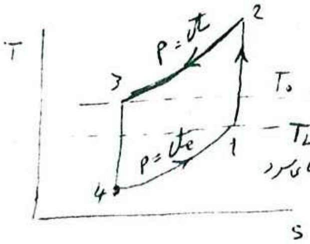
## سیکل تبرید استاندارد هوائی

این سیکل در مایع سازی هوا و دیگر گازها مورد استفاده عملی دارد و همچنین در بعضی موارد برای سرد سازی




شکل این سیکل که عکس سیکل برایتون است نشان می‌دهد

سطح داخل دیاگرام مقدار کار صرف شده کمپرسور و سطح زیر 1-4 مقدار بار برودتی می‌باشد و نسبت $\frac{q_L}{w}$ ضریب عملکرد سیکل را بدست می‌دهد

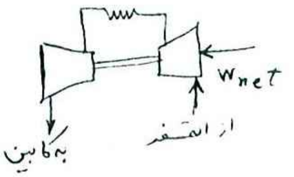


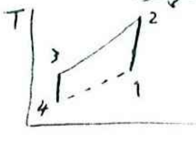

در مبدل بالا گاز دمای محیط سرد می‌شود

در مبدل پایین گاز دمای فضای سرد گرم می‌شود

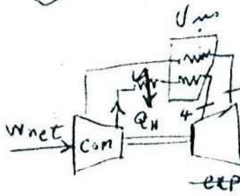
نوع سیکل باز برای سردسازی کابین هواپیما بکار می‌رود

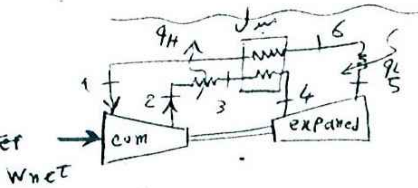
هوا بعد از خروج از expander مستقیماً وارد کابین هواپیما می‌شود

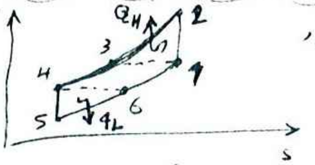



وقتی از یک مبدل مطابق شکل زیر استفاده شود دماهای خیلی پایین‌تر قابل حصول است که از این روش در مایع سازی هوای تحت فشار کم و دیگر مایع سازی‌ها استفاده می‌شود در این صورت ضریب عملکرد پایین بوده زیرا دمای پائین زیادی دما با دمای محیط ... در زمینه روش کاری و سازنده رو به رو خواهد بود




مبدل ایده‌آل فرض می‌شود

یعنی $T_4 = T_6$

$T_3 = T_1$

مثال ~~9.15~~ مسئله

در سیکل بالا هوا ($.1\ mpa$, $-20°C$) وارد کمپرسور شده و آنرا در $0.5\ mpa$ ترک می‌کند هوا وارد اکسپندر با دمای $15°C$ می‌شود

مطلوبست ضریب عملکرد سیکل مقدار دبی جرمی برای ایجاد برودت 1KW

① $\begin{cases} .1\ mpa \\ -20°C \end{cases}$ $\quad P_2 = 0.5\ mpa \Rightarrow T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} = 253.2\left(\frac{0.5}{0.1}\right)^{.286} = ~~12.5845~~\ 401.2\ K$

② $\begin{cases} 401.2\ K \\ 0.5\ mpa \end{cases}$ $\quad$ ③ $\begin{cases} T_3 = T_1 = -20°C \\ P_3 = P_2 = 0.5\ mpa \end{cases}$ $\quad$ ④ $\begin{cases} 15°C \\ .5\ mpa \end{cases}$ $\quad T_5 = T_4\left(\frac{P_5}{P_4}\right)^{\frac{K-1}{K}} = 288.2\left(\frac{1}{5}\right)^{.286} = 181.9$

⑤ $\begin{cases} 0.1\ mpa \\ 181.9°K \end{cases}$ $\quad \begin{cases} T_6 = T_4 \\ P_6 = P_5 \end{cases} \Rightarrow$ ⑥ $\begin{cases} 288.2\ °K \\ 0.1\ mpa \end{cases}$

$$W_c = C_p(T_2 - T_1) = 1.0035(401.2 - 253.2) = 148.5\ KJ/Kg$$

$$W_t = h_4 - h_5 = C_p(T_4 - T_5) = 1.0035(288.2 - 181.9) = 106.7\ KJ/Kg$$

$$W_{net} = 148.5 - 106.7 = 41.8$$

$$q_l = C_p(T_6 - T_5) = 1.0035(288.2 - 181.9) = 106.7$$

$$\beta = \frac{106.7}{41.8} = 2.55$$

$$\dot{m} = \frac{1}{106.7} = 9.37 \times 10^{-3}\ Kg/s$$

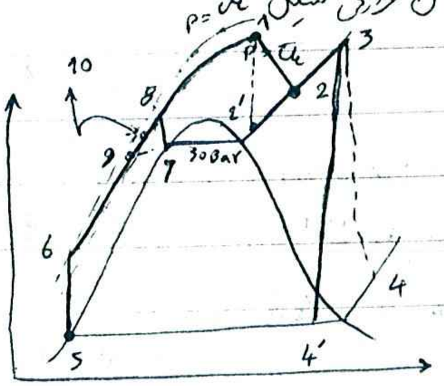
در مثال 9.15 کتاب بدون مبدل با همین شرائط مسئله حل شده است و ضریب عملکرد $\beta = 1.71$ و $\dot{m} = .014$ بدست آمده است

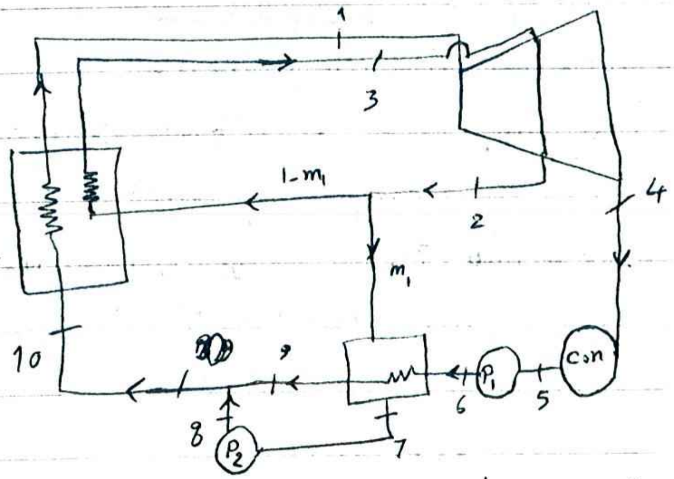
11-2-8-9 تحویل

10

یک نیروگاه فوق بحرانی (super critical) دارای بازیاب و بازتاب (reheat) می‌باشد بخار با فشار 240 Bar و دمای 600°C وارد توربین می‌شود فشار کندانسور 0.6 Bar می‌باشد. فشار 30 Bar طبقه اول توربین را ترک نموده و قسمتی از آن وارد یک گرمکن بسته شده بقیه تا دمای 540°C مجدداً reheat می‌شود هر دو قسمت توربین دارای راندمان 88% است یک پمپ آب تقطیر (condensate pump) بین کندانسور و گرمکن و پمپ دیگری برای بازگرداندن آب تقطیر شده از گرمکن حاصل از بخار extraction به مسیر آب تغذیه بویلر به کار رفته است. آب تغذیه کل در فشار 280 Bar وارد بویلر می‌گردد مطلوبست شکل شماتیک نیروگاه و دیاگرام T-S

2 - نسبت جرم آبی که برای گرمکن از توربین گرفته می‌شود 3 - راندمان حرارتی سیکل




$$\begin{cases} P_1 = 240 \\ T_1 = 600^\circ C \end{cases}$$

$h_1 = 3500\ KJ/Kg$

$h_{2'} = 2915$

$\eta_t = \dfrac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2'}} = 0.88$

$h_2 = 2985$

$$\begin{cases} P_3 = 30 Bar \\ T_3 = 540^\circ C \\ h_3 = 3550\ KJ/Kg \end{cases}$$

$h_{4'} = \cancel{2700}\ 2585$

$\eta_t = 0.88 = \dfrac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4'}} \rightarrow h_4 = 2700$

$h_5 = h_f = 358.05\ KJ/Kg$

$W_p = v_f (P_6 - P_5) = 0.00103208 (28000 - 60)$

$W_p = 28.8\ KJ/Kg$

$h_6 = h_5 + W_{p_1} = 386.85\ KJ/Kg$

$h_7 = h_f |_{30 Bar} = 1008.42\ KJ/Kg$

$W_{P_2} = v_f (P_8 - P_7) = 0.001217 (28000 - 3000)$

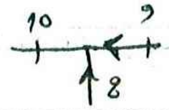
$W_{P_2} = 30.4\ KJ/Kg$

$h_8 = h_7 + W_{P_2} = 1038.82$

$T_9 = T_7$

$P_9 = 280\ Bar$

$$(1-m_1)h_9 + m_1 h_8 = (1)h_{10}$$




با فرض
چون بهم نزدیکند $h_8 = h_9 = h_{10}$

موازنه انرژی گرمکن $m_1 h_2 + (1-m_1)h_6 = m_1 h_7 \Rightarrow m_1 = 0.248$

$$W_{net} = (h_1-h_2) + (h_3-h_4)(1-m_1) - \underbrace{(h_6-h_5)}_{W_{P_1}}(1-m_1) - \underbrace{(h_8-h_5)}_{W_{P_2}} m_1$$

$W_{net} = 1125\ kJ/kg$

$q = (h_1-h_{10})m_1 + (h_3-h_2)(1-m_1)$

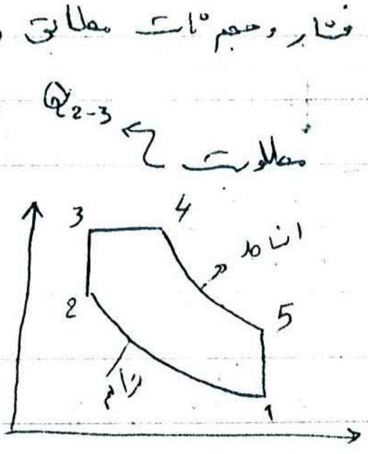
---

تا دمای حرارت در انتهای تراکم $760^\circ c$ و فشار 3.2 Bar
گاز نیم فشار ... 60 Bar می رسد وزن هوای داخل سیلندر 0.1 kg . $Q_k = 200\ kJ$ گرمای ورودی در
فشار و حجم ثابت مطابق روابط فوق داده شده اند

$C_p = 0.967 + 0.0001\,T$

$C_v = 0.661 + 0.0001\,T$

مطلوب است $Q_{2-3}$ و $Q_{3-4}$ و دمای شروع انبساط




$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3} \Rightarrow T_3 = 1936.8\,K$$

$$Q_{2\to3} = m\int_{T_2}^{T_3} C_v\,dT = 0.1\int_{T_2}^{T_3}(0.661 + .0001\,T)\,dT$$

$Q_{2\to3} = 73.16\ kJ \qquad Q_{3-4} = Q - Q_{2-3} = 200 - 73.16 =$

اگر $C_v$ و $C_p$ ثابت نباشند
باز هم ثابت می ماند $C_p - C_v = R$

$Q_{3\to4} = 126.8$

$$Q_{3-4} = m\int_{T_3}^{T_4} C_p\,dT = .1\int_{T_3}^{T_4} 0.967 + .0001\,T\ dT$$

$T_4 = 2982.4\ K^\circ$

فصل 10 روابط ترمودینامیکی

اگر z تابع پیوسته‌ای از x و y باشد

$$z = f(x,y)$$

$$dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x dy$$

که می‌توان آنرا بفرم زیر نوشت

$$dz = M\,dx + N\,dy$$

$$M = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y$$ مشتق z نسبت به x در y ثابت

$$N = \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x$$

چون $\left.\frac{\partial M}{\partial y}\right)_x = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}$ و $\left.\frac{\partial N}{\partial x}\right)_y = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}$ می‌باشد برای توابع نقطه‌ای ترتیب مشتق‌گیری بی اثر است بنابراین برای اینگونه توابع

$$\boxed{\frac{\partial N}{\partial x} = \frac{\partial M}{\partial y}}$$

غیر از رابطه مهم فوق رابطه مهم دیگری نیز برای توابع نقطه‌ای وجود دارد می‌توان نشان داد برای چنین توابعی

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

## 10.2) رابطه‌های ماکسول — the maxwell Relations

سیستم تراکم پذیر ساده را شامل ماده خالص در نظر می‌گیریم رابطه‌های ماکسول برای چنین سیستمی عبارتند از چهار معادله با بهره‌گیری از چهار خاصیت $P, v, T, S$

چهار معادله ماکسول را می‌توان با بهره‌گیری از چهار رابطه زیر بدست آورد
از چهار معادله دو معادله از قبل آشنائی داریم

$$du = T\,ds - p\,dv$$
$$dh = T\,ds + v\,dp$$

دو رابطه دیگر روابطی هستند که تحت عنوان تابع هلمهولتز helmholtz ← a و تابع گیبس Gibbs

$$a = u - Ts \qquad da = du - T\,ds - s\,dT$$

$$\boxed{da = -p\,dv - s\,dT}$$

$$g = h - Ts \qquad dg = dh - Tds - sdT$$

$$\boxed{dg = v\,dp - s\,dT}$$

چون معادلات بدست آمده متشکل از خواص می‌باشند بنابراین تابع نقطه‌ای و دیفرانسیل آنها دقیق است و می‌توان رابطه $\frac{\partial M}{\partial y} = \frac{\partial N}{\partial x}$ را در مورد آنها بکار گرفت و معادلات ماکسول را بدست آورد

$$du = Tds - Pdv \Rightarrow \boxed{\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s = -\left(\frac{\partial P}{\partial s}\right)_v}$$

$$dh = Tds + vdp \Rightarrow \boxed{\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s = \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_P}$$

$$da = -pdv - sdT \Rightarrow \boxed{\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v}$$

$$dg = vdp - sdT \Rightarrow \boxed{-\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P}$$

در معادلات ماکسول از چهار کمیت خاصیت بکار گرفته شده تنها انتروپی بر خلاف آنها آزمایشگاهی قابل حصول نیست بنابراین می‌توان با اندازه‌گیری سه خاصیت دیگر مقدار انتروپی را با استفاده از این روابط بدست آورد

غیر از روابط ماکسول روابط مفید دیگری نیز از چهار معادله اساسی ارائه شده می‌توان بدست آورد برخی از آنها عبارتند از

$$du = Tds - pdv \qquad \left.\frac{\partial u}{\partial s}\right)_v = T \qquad \left.\frac{\partial u}{\partial v}\right)_s = -P$$

$$dh = Tds + vdp \qquad \left.\frac{\partial h}{\partial s}\right)_P = T \qquad \left.\frac{\partial h}{\partial p}\right)_s = v$$

$$da = -pdv - sdT \qquad \left.\frac{\partial a}{\partial v}\right)_T = -P \qquad \left.\frac{\partial a}{\partial T}\right)_v = -S$$

$$dg = vdp - sdT \qquad \left.\frac{\partial g}{\partial p}\right)_T = v \qquad \left.\frac{\partial g}{\partial T}\right)_P = -S$$

مثال ۱۰.۱

## 10.9 the behavior of real gases

## رفتار گازهای واقعی

در فصل سوم ضریب تراکم پذیری تعریف شد $z = \frac{Pv}{RT}$

در شکل 10.5 مقدار z برحسب فشار در دماهای ثابت (برای نیتروژن) ترسیم شده است کلیه خطوط دما ثابت وقتی فشار به سمت صفر میل می‌کند سمت $z = 1$ میل می‌کنند در حوالی نقطه بحرانی انحراف از حالت تعادل زیاد است (در نزدیکی نقطه بحرانی 0.29 است) در فشارهای خیلی بالا برای کلیه دماها z بزرگتر از یک می‌شود

با بررسی دیاگرام تراکم پذیری برای مواد خالص در می‌یابیم که از نظر کیفی به هم شبیه هستند از نظر کمی دیاگرامها متفاوتند به دلیل آنکه دما و فشار بحرانی برای مواد مختلف متفاوت است

برای آنکه به یک نمودار عمومی تراکم پذیری دست یابیم کمیتها را برحسب مقدار بحرانی کاهش می‌دهیم کمیتهای زیر تعریف می‌شود

reduced pressure $P_r = \frac{P}{P_{critical}}$

" Temperature $T_r = \frac{T}{T_{cri}}$

" volume $v_r = \frac{v}{v_c}$

اگر مقدار z برحسب $P_r$ در $T_r$ ثابت برای مواد مختلف ترسیم شود تقریباً از نظر کمی نیز بر هم منطبق می‌شوند (مقدار خیلی کمی اختلاف دارند) این منحنی در ضمیمه 5 (شکل) ترسیم شده است که براساس متوسط گیری از چندین ماده می‌باشد و زمانیکه برای یک ماده بکار گرفته می‌شود مقداری خطا دارد بنابراین در صورت در دست داشتن اطلاعات ترمودینامیکی یک ماده خاص بهتر است از نمودار عمومی استفاده نشود

$P_r$ و $v_r$ و $T_r$ سه متغیر مستقل نیستند و رابطه ای بین این سه می‌توان تعریف نمود که برای اکثریت عموم گازها صدق کند

$v_r = f(T_r, P_r)$ به این رابطه «قاعده حالتهای همخوان» گفته می‌شود

rule of corresponding states

این قاعده نیز مانند دیاگرام عمومی دقیق نیست و مقداری خطا دارد

z برای نقطه بحرانی مواد از 0.23 تا 0.33 تغییر می‌کند که در نمودار عمومی برای همه 0.27 آمده است بنابراین نمودار عمومی در ناحیه نزدیک بحرانی از دقت بالائی برخوردار نیست نوعی نمودار عمومی نیز ارائه می‌شود که در آن پارامتر سوم مستقل مثل $z_c$ نیز تعریف می‌شود که در محدوده بحث نیست

همچنین در ناحیه مایع نیز خطا خیلی زیاد است و استفاده از نمودار توصیه نمی‌شود (البته در نمودار نیز بصورت خط چین آمده)

مثال 10.7

الف) حجم مخصوص پروپان در 7MPa و 150°c را بدست آورید

ثابت های بحرانی از جدول

$T_c = 370 K \rightarrow T_r = \frac{150+273.15}{370} = 1.144$

$P_c = 4.26 MPa \rightarrow P_r = P/P_c = 7/4.26 = 1.64$

$\rightarrow Z = .54$

$R = .18855 \frac{KJ}{kg K}$

$v = \frac{ZRT}{P} = \frac{(.54)(.18855)(423.2)}{7} = .00616 \; m^3/kg$

ب) فشار مجهول: فشار پروپان در $v = .00616 \; m^3/kg$ و $T = 150°c$ را بدست آورید

$T_r = 1.144$

$P_r = \frac{ZRT}{v P_c} = \frac{Z(.18855)(423.2)}{(.00616)(4.26 \times 10^3)} = 3.04 Z$

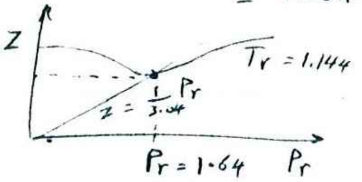
Z را حدس میزنیم مقدار Pr را بدست می‌آوریم با استفاده از Pr و Tr مقدار Z را از نمودار میخوانیم مجدداً Z بدست آمده را ... تا هنگامی که مقدار Pr در همگرائی برابر 1.64 بدست آید

حدس $Z = .4$ → $\{T_r = 1.144,\; P_r = 3.04 Z\}$ → نمودار → $Z$ (تکرار)

$P_r = 1.64 = \frac{P}{P_c}$

$P = P_c P_r = 4.26 \times 1.64 = 7 \, MPa$

از روش ترسیم




ج) دما مجهول: دمای پروپان تحت $P = 7MPa$ و $v = .00616$

$P_r = 1.64$

$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{\frac{Pv}{RZ}}{T_c} = \frac{Pv}{RZT_c} = \frac{7000 \times .00616}{(.18855)(370) Z} = \frac{.6177}{Z}$

حدس Z → $\{P_r = 1.64,\; T_r = .6177/Z\}$ → نمودار → Z (تکرار)

همگرائی $T_r = 1.144$

$T = T_r \times T_c = 423.2 K$

مثال 10.1

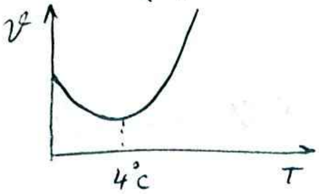
با توجه در جدول مایع فشرده می‌توان دریافت کرد که انتروپی مایع فشرده در 0°C بیشتر از مایع اشباع 0°C بوده و برای سایر دما مقدار انتروپی کمتر از مایع اشباع هم‌دما می‌باشد (این جدول دماهای بالاتر از 0 درجه را شامل بوده و بعد از 0°C نیز دمای 20°C ثبت شده است) این روند را توجیه نمائید

حل: اگر مایع اشباع را در دمای ثابت فشار حاکم بر آن زیاد کنیم تغییر انتروپی برای این فرایند از رابطه ماکسول قابل حصول است

$$\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P$$

طبق رابطه فوق تغییر انتروپی به علامت $\left.\frac{\partial v}{\partial T}\right|_P$ بستگی دارد یعنی اگر در نقطه مورد نظر منحنی v-T رسم شود (در فشار مورد نظر) اگر $\left.\frac{\partial v}{\partial T}\right|_P$ مثبت باشد با افزایش فشار انتروپی کاهش می‌یابد

اگر v-T برای آب در فشار معمولی رسم شود (چون این رفتار با فشار تغییر می‌کند اما نه زیاد)




دیده می‌شود برای دمای بالاتر از 4°C شیب مثبت است بنابراین با افزایش فشار انتروپی کاهش می‌یابد و بنابراین برعکس (البته تا جائی که شیب منفی باشد) چون این روند معمولاً در دمای پایین‌تر عوض می‌شود)

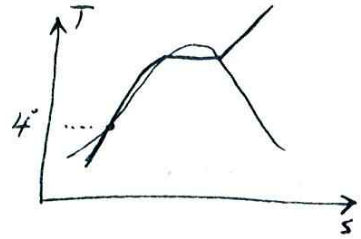
---

توضیح: نکاتی از فصل هفتم

چون $\left.\frac{\partial v}{\partial T}\right|_P$ در چهار درجه صفر است بنابراین انتروپی مایع فشرده و مایع اشباع هم‌دما در 4°C یکسان بوده و خطوط فشار ثابت در این دما منحنی مایع اشباع را قطع می‌کنند

انتروپی مایع فشرده بالای 4°C کمتر از مایع اشباع هم‌دما می‌باشد

" " " زیر " بیشتر " " " "




چون اختلاف مقدار انتروپی مایع فشرده با مایع اشباع بسیار ناچیز است برای فرایندهائی که مایع فشرده تحت فشار ثابت گرم می‌شود مسیر فرایند را تا قبل از رسیدن به مایع اشباع می‌توان روی منحنی اشباع نمایش داد

به عبارتی ادامه خطوط فشار ثابت در ناحیه مایع سرد را می‌توان منطبق برهم و روی منحنی مایع اشباع در نظر داشت

## 10.3 معادله کلاپیرون    Clapeyron equation

بوسیله این معادله می‌توان انتالپی تغییر فاز را بوسیله اندازه‌گیری حجم مخصوص و شیب منحنی فشار بدست آورد

معادله ماکسول    $\left.\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$

فشار و دمای تغییر فاز به حجم مخصوص بستگی ندارد (پیستون در هر موقعیتی که باشد دما و فشار اشباع همان خواهد بود و با پیستون در هر موقعیتی که باشد وما به وزنه‌ای اضافه کنیم مقدار تغییر دما برای ایجاد مجدد حالت اشباع فرقی نخواهد کرد)

بنابراین در ناحیه تغییر فاز $\left.\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = \frac{dP}{dT}$ (اثبات شیب منحنی)

(یعنی در هر حجم مخصوص که باشد فرقی نمی‌کند اگر ما به اندازه $dP$ به فشار بیافزاییم همان $dT$ برای ایجاد مجدد حالت اشباع نیاز است)

از طرفی برای تغییر فاز از حالت مایع به بخار دما ثابت می‌ماند و

$$\left.\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \frac{s_g - s_f}{v_g - v_f} = \frac{s_{fg}}{v_{fg}}$$

از ترمو ۱ داریم $s_{fg} = \frac{h_{fg}}{T}$

بنابراین

$$\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{s_{fg}}{v_{fg}} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}} \Rightarrow \boxed{\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}}}$$

معادله کلاپیرون

این معادله برای هر تغییر فازی صادق است از جمله برای تغییر فاز جامد به بخار که در این حالت فشار بخار بسیار کم بوده و می‌توان از رابطه گاز کامل $Pv = RT$ نیز کمک گرفت و رابطه کلاپیرون را کامل‌تر نمود

$$\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{ig}}{T v_{ig}} = \frac{h_{ig}}{T(v_g - v_i)}$$

چون در این حالت $v_g \gg v_i$ می‌باشد از $v_i$ صرف نظر می‌شود

از رابطه گاز کامل $(Pv = RT)$

$$\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{ig}}{T v_g} = \frac{h_{ig}}{T(RT/P)} = \frac{P h_{ig}}{RT^2}$$

$$\frac{dP}{P} = \frac{h_{ig}}{R}\frac{dT}{T^2}$$

~~$\ln\frac{P_2}{P_1} = \frac{h_{ig}}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right)$~~

---

نکته: در تغییر فاز:

$$Q = \Delta u + {}_1W_2$$

$$Q = (u_2 - u_1) + P(v_2 - v_1)$$

$$= h_2 - h_1 = h_g - h_f \quad \text{یعنی} \quad Q = h_{fg}$$

و از طرفی چون دما ثابت است

$$ds_{fg} = \frac{dQ}{T} \Downarrow s_{fg} = \frac{h_{fg}}{T}$$

مثال : 10.2

فشار اشباع متانول به دمای $-60°C$ را با استفاده از جدول A.1.5 بدست آورید

حل : این جدول اطلاعات لازم تا $-40°C$ را بدست می دهد اما با دقت در جدول مشاهده می شود که تغییرات $h_{fg}$ در محدوده جدول بسیار ناچیز است با فرض ثابت بودن $h_{fg}$ رابطه نهائی بدست آمده را انتگره می نمائیم

$$\int_1^2 \frac{dp}{P} = \int_1^2 \frac{h_{fg}}{R}\frac{dT}{T^2} \Rightarrow \boxed{\ln\frac{P_2}{P_1} = \frac{h_{fg}}{R}\left(\frac{T_2-T_1}{T_1T_2}\right)}$$

از جدول A.1.5

$T_2 = 233.2\ K$, $P_2 = .0129\ Kpa$

$T_1 = 213.2\ K$, $P_1 = ?$

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = \frac{2838.9}{.46152}\left(\frac{233.2-213.2}{233.2 \times 213.2}\right) = 2.4744 \Rightarrow P_1 = .00109\ Kpa$$

---

مسئله 10.4 جدید / 10.5 قدیم

در فشار اتمسفر $101.3\ Kpa$ هلیوم در $4.22\ K$ می جوشد و گرمای نهان تبخیر latent heat برابر $83.3\ \frac{KJ}{Kmol}$ می باشد می خواهیم تقریب بزنیم تا چه اندازه ای می توان دمای پایین دست یافت. برای روش که با کاهش فشار حاکم بر هلیوم را با خلاء کردن پایین بیاوریم برای اینکه معین کنید چه فشاری باید خلاء ایجاد کرد تا به 1 درجه کلوین و 0.5 درجه کلوین دست یافت

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = \frac{\bar{h}_{fg}}{\bar{R}}\left(\frac{T_2-T_1}{T_1T_2}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{P_2}{101.3}\right) = \frac{83.3}{8.31434}\left(\frac{4.22-1}{4.22 \times 1}\right)$$

$\Rightarrow P_2 = .048\ KPa$ برای $T = 1°K$

$$\ln\left(\frac{P_2}{101.3}\right) = \frac{83.3}{8.31434}\left(\frac{4.22-.5}{4.22 \times .5}\right) =$$

$P = 2.16 \times 10^{-6} = .00216\ Kpa$

$$\frac{.048}{2.16 \times 10^{-6}} = 22444$$

یعنی برای کاهش 0.5 درجه باید خلائی 22444 مرتبه بزرگتر ایجاد نمود

مسئله 10.7 قدیم
مسئله 10.6 جدید

شخصی با وزن 80kg روی یک سطح یخی skate می‌نماید اگر سطح تیغه‌ای کفش آن مجموعاً $20\,mm^2$ و دمای موضع موقعیت قرارگیری تیغه روی یخ $-2°C$ باشد آیا در این ناحیه یخ ذوب می‌شود (از روابط ترمودینامیکی همراه با اطلاعات جدول A.1.1 و A.1.5 استفاده شود)

A.1.1 $\begin{cases} P = .6113\ kPa \\ T = .01°C \\ h_f = .01\ \frac{kJ}{kg} \\ v_f = .001 \end{cases}$

A.1.5 $\begin{cases} P = .6113\ kPa \\ T = .01°C \\ h_i = -333.4 \\ v_i = .001091 \end{cases}$

$$P_1 = 8101.3 + \frac{80 \times 9.81}{20 \times 10^{-6} \times 1000} = 39341.3\ kPa \longrightarrow T_1 = ?$$

$$P_2 = .6113\ kPa \longrightarrow T_2 = .01°C$$

$$\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{if}}{T v_{if}} \qquad \int_1^2 dP = \frac{h_{if}}{v_{if}} \int_1^2 \frac{dT}{T}$$

$$P_2 - P_1 = \frac{h_{if}}{v_{if}} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$0.6113 - 39341.3 = \frac{.01 - (-333.4)}{.001 - .001091} \ln \frac{(.01 + 273.15)}{T_1}$$

$$T_1 = 270.24°K \qquad T_1 = -2.9°C$$

دمای ذوب در فشار حاکم -2.9 می‌باشد بنابراین جواب مثبت است

مسئله 10.18 قدیم

در مخزنی به حجم 0.1 متر مکعب پروپان $C_3H_8$ تحت فشار $P = 9\,MPa$ و دمای $280°C$ وجود دارد الف) مقدار جرم پروپان را بیابید

ب) اگر مخزن تا دمای 60 سرد شود و به حالت مخلوط برسد کیفیت را بیابید

$$\left| \begin{array}{l} P_1 = 9\,MPa \\ T_1 = 280°C \end{array} \right. \xrightarrow{\text{سرد می‌کنیم}} \left\{ \begin{array}{l} T_2 = 60°C \\ x_2 = ? \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M = 44.04 \\ T_c = 370 \\ P_c = 4.26\,MPa \\ R = .18855 \end{array} \right. \qquad \left. \begin{array}{l} \frac{T_1}{T_c} = T_{r_1} = 1.495 \\ P_{r_1} = \frac{P}{P_c} = 2.11 \end{array} \right\} \rightarrow Z_1 = .845 \qquad Pv_1 = Z_1 R T_1$$

$$v_1 = \frac{Z_1 R T_1}{P} = \frac{(.845)(.18855)(280 + 273.15)}{9 \times 10^3} = 9.792 \times 10^{-3}\ m^3/kg$$

$$m = \frac{V}{v_1} = 10.21\ kg$$

---

در حالت دوم صورت مسئله عنوان کرده که حالت اشباع است بنابراین

$$T_{r_2} = \frac{60 + 273.15}{370} = .9 \xrightarrow[\text{حالت اشباع}]{\text{نمودار عمومی}} P_{r_2} = .485 \rightarrow P_2 = P_c P_{r_2} = 2.066\ MPa$$

$$Z_g = 0.7$$

$$Z_f = .09$$

$$P_2 v_g = Z_g R T_2 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_g = \frac{Z_g R T_2}{P_2} = \frac{(.7)(.18855)(333.15)}{2.066 \times 10^3} = .02128 \\ v_f = \frac{Z_f R T_2}{P_2} = 2.736 \times 10^{-3} \end{array} \right.$$

$$v_2 = v_1$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{9.792 \times 10^{-3} - 2.736 \times 10^{-3}}{.02128 - 2.736 \times 10^{-3}} = .388$$

---

روش دیگر

$$v_2 = v_1 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow Z_2 = \frac{P_2}{P_1} \times Z_1 \times \frac{T_1}{T_2} = \frac{2.066}{9} \times .845 \times \frac{553.2}{333.2}$$

$$Z_2 = .322 \qquad Z_2 = x Z_f + (1-x) Z_g \Rightarrow x = \frac{Z - Z_f}{Z_g - Z_f} = .38$$

---

$$\left. \begin{array}{l} Pv = ZRT \\ Pv_g = Z_g RT \\ Pv_f = Z_f RT \end{array} \right\} \rightarrow P\left[v_g x + (1-x) v_f\right] = ZRT$$

$$P\left[\frac{Z_g RT}{P} x + (1-x) \frac{Z_f RT}{P}\right] = ZRT$$

$$\boxed{x Z_g + (1-x) Z_f = Z}$$

## فصل 11

### مخلوطها و محلولها

تاکنون بحث تنها روی ماده خالص بوده است در این فصل روی مخلوطها یا محلولهایی از چند ماده خالص بحث می‌شود

### مخلوط گازهای کامل

نسبت مولی عنصر iام در یک مخلوط چندگازه بصورت زیر تعریف می‌شود

$$y_i = \frac{n_i}{n}$$

$n_i$ تعداد مول عنصر iام

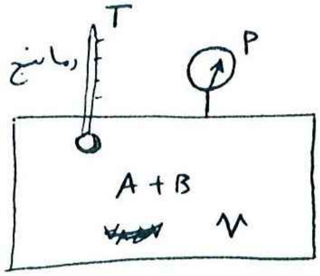
$n$ تعداد مول کل مخلوط

نسبت جرمی مشابهاً بصورت زیر تعریف می‌شود

$$m_{f_i} = \frac{m_i}{m}$$

$m_i$ جرم عنصر iام

$m$ جرم کل مخلوط




مخزن روبرو را در نظر می‌گیریم دو گاز A و B بصورت مخلوط در آن وجود دارند هدف این است که خواص ترمودینامیکی چنین مخلوطی با استفاده از خواص ترمودینامیکی ماده‌های خالص تشکیل دهنده بدست آید تا مورد استفاده قرار گیرد

یک روش این است که جداول و منحنی‌هایی برای هر مخلوط ارائه شود برای مخلوطهایی مثل هوا چنین منحنی‌هایی وجود دارد که برای درصد خاصی از هر یک از عناصر ارائه شده است ولی برای همه مخلوطها این ممکن نیست

روش دوم آنکه خواص ترمودینامیکی مخلوط به نسبت مولی عناصر تشکیل دهنده به مخلوط نسبت داده شود مثلاً برای شکل بالا

$$U_{mix} = n_A \bar{U}_A + n_B \bar{U}_B$$

$\bar{U}_A$ انرژی داخلی یک مول از گاز A

$\bar{U}_B$ " " " " " B

$$s = s(T, p)$$

$$ds = \frac{\partial s}{\partial T}\Big)_p dT + \frac{\partial s}{\partial p}\Big)_T dp$$

---

بنابر جمله اول

$$T\,ds = dh - v\,dp$$

$$\begin{cases} T \dfrac{\partial s}{\partial T}\Big)_p = \dfrac{\partial h}{\partial T}\Big)_p - 0 = C_{p0} \\ \dfrac{\partial s}{\partial T}\Big)_p = \dfrac{C_{p0}}{T} \end{cases}$$

---

ماکسول بنابر جمله دوم

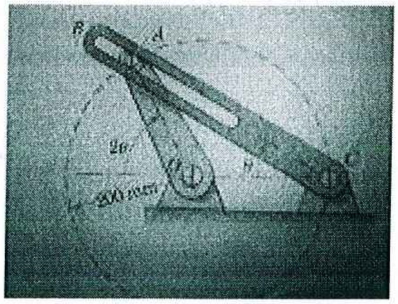
$$\frac{\partial v}{\partial T}\Big)_p = -\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T$$

---

$$ds = C_p \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp$$

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_{p0} \frac{dT}{T} - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp$$

:5-173



فرض می کنیم $w_{BC}, a_{BC}$ در جهت عقربه های ساعت باشند .

$$v_A = v_P + v_{\frac{A}{P}}$$
$$v_A = w_{OA} * r_{OA} = 10k * 0.2(\sin 60° i + \cos 60° j) = 1.732 j - i$$
$$v_P = w_{BC} * r_{CP} = wk * (0.3464i) = 0.3464wj$$
$$v_{\frac{A}{P}} = -v_{\frac{A}{P}} i$$
$$\rightarrow 1.732 j - i = 0.3464wj - v_{\frac{A}{P}} i \rightarrow$$
$$-1 = -v_{\frac{A}{P}}$$
$$1.732 = 0.3464w$$
$$w = 5rad / s.c.w$$

و برای شتاب پین A نسبت به شیار داریم :

$$h = h(T, P)$$

$$dh = \left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P dT + \left.\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T dP$$

---

برای جمله اول

$$\left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = C_{p0}$$

---

برای جمله دوم

$$T\,ds = dh - v\,dP$$

$$\begin{cases} T \left.\dfrac{\partial s}{\partial P}\right)_T = \left.\dfrac{\partial h}{\partial P}\right)_T - v \\ \left.\dfrac{\partial h}{\partial P}\right)_T = T \left.\dfrac{\partial s}{\partial P}\right)_T + v \end{cases}$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = -\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \quad \text{ماکول}$$

---

در جمله دوم قرار می‌دهیم

$$\left.\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = -T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P + v$$

---

$$dh = C_{p0}\,dT + \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_{p0}\,dT + \int_{P_1}^{P_2} \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$$a_A = a_P + 2w * v_{rel} + a_{rel}$$

$$a_A = \dot{w}_{OA} * r_{OA} + w_{OA} * (w_{OA} * r_{OA}) = 0 + 10k * (1.732j - i) = -17.32i - 10j$$

$$a_P = \dot{w}_{BC} * r_{CP} + w_{BC} * (w_{BC} * r_{CP})$$

$$\dot{w}_{BC} k * (0.3464i) + 5k * (0.3464)5j$$

$$0.3464 \dot{w}_{BC} j - 8.66i$$

$$2w * v_{rel} = 2 * (5k) * (-i) = -10j$$

$$a_{rel} = -a_{rel} i$$

$$\rightarrow -17.32i - 10j = 0.3464 \dot{w}_{BC} j - 8.66i - 10j - a_{rel} i$$

$$-17.32 = -8.66 - a_{rel}$$

$$-10 = 0.3464 \dot{w}_{BC} - 10$$

$$\rightarrow a_{rel} = 8.66 m/s^2$$

$$a_{rel} = -8660 mm/s^2$$

$$h = h(T, p)$$

$$dh = \left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p dT + \left.\frac{\partial h}{\partial p}\right)_T dp$$

$$T\,ds = dh - v\,dp$$ برابر جمله دوم

$$\left(\frac{\partial h}{\partial p}\right)_T = v + T\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = -\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T$$ ماکسول

$$\left(\frac{\partial h}{\partial p}\right)_T = v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

$$T\,ds = dh - v\,dp$$ جمله اول برابر

$$\left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p = T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p = C_p$$

$$dh = C_p\,dT + \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p\right]dp$$

$$h_2 - h_1 = \int_1^2 \quad + \int_1^2$$

$$u = u(T, v)$$

$$du = \left.\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v dT + \left.\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv$$

$$T\,ds = du + p\,dv$$ جمله دوم

$$\left.\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = T\left.\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T - p$$

$$\left.\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left.\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = T\left.\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p$$

$$T\,ds = du + p\,dv$$ برابر جمله اول

$$\left.\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v = T\left.\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = C_v$$

$$du = C_v\,dT + \left[T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p\right]dv$$

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد ساری

« باسمه تعالی »

شماره: ۳-۱۷-۵-۵۹۷۶
تاریخ: ۳۱ تیر ۱۳۸۵
پیوست:

اندیشیدن و تفکر انسان را به نیکی کردن و عمل به آن سوق می‌دهد.

امام علی (ع)

==========================================================

## فرم معرفی‌نامه

+=+=+=+=+=+=+=+=+=+=+=+

**مدیریت محترم نیروگاه شهید سلیمی نکا**

سلام علیکم

احتراماً، عطف به نامه شماره **۵۲۵۵/۷۸۹** مورخ **۸۵/۳/۴**، آقای **امیر تقی‌پور اسرمی** دانشجوی رشته **مکانیک** گرایش **حرارت و سیالات** مقطع **کارشناسی** به شماره دانشجویی **۸۰۱۷۵۰۱۳** جهت گذراندن دوره کارآموزی به مدت **۲۴۰** ساعت از تاریخ **۸۵/۵/۱** به تعداد **۲** واحد معرفی می‌نماید.

ضمناً استاد کارآموزی ایشان آقای **عباسی** می‌باشد.

خواهشمند است دستور فرمائید ضمن اقدامات لازم به منظور شروع کارآموزی نامبرده نسبت به تعیین سرپرست کارآموزی اقدام مقتضی صورت گیرد. متمنی است پس از انجام کارآموزی در پایان دوره گواهی پایان دوره کارآموزی جهت نامبرده صادر و یک نسخه برای این دفتر ارسال فرمایند.

لازم به ذکر است نامبرده موظف به اجرای مقررات انضباطی و ایمنی آن واحد آموزشی می‌باشد./

با آرزوی توفیق الهی

**مهران خاکی**

**سرپرست معاونت پژوهشی**

رونوشت:

- استاد راهنما جهت استحضار
- آموزش دانشگاه جهت استحضار
- دفتر ارتباط با صنعت جهت سابقه.


**ساختمان مرکزی ، ساری – خیابان امیرمازندرانی ، جنب فرمانداری**

**صندوق پستی ، ۱۹۴ - ۴۸۱۶۴    تلفن ۱۳۰-۲۲۶۶۴۱۱    دورنویس ، ۲۲۶۸۱۱۲**

مثال 13.3

در یک بازه فشار و دمای خاص معادله حالت یک ماده بصورت زیر داده شده است. برای یک فرایند دما ثابت
تغییر انتروپی و انتالپی را بدست آورید

$$\frac{Pv}{RT} = 1 - c'\frac{P}{T^4} \qquad \Rightarrow \qquad v = \frac{RT}{P} - \frac{c}{T^3}$$

$$(h_2 - h_1)_T = \int_1^2 \left[ v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \right] dP$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = \frac{R}{P} + \frac{3c}{T^4} \quad \text{از معادله حالت}$$

$$h_2 - h_1 = \int_1^2 \left[ \frac{RT}{P} - \frac{c}{T^3} - \frac{RT}{P} - \frac{3c}{T^3} \right] dP$$

$$= \int_{P_1}^{P_2} -\frac{4c}{T^3}\, dP = -\frac{4c}{T^3}(P_2 - P_1)$$

---

$$s_2 - s_1 = -\int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P dP = -\int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{R}{P} + \frac{3c}{T^4}\right) dP$$

$$= -R \ln\frac{P_2}{P_1} - \frac{3c}{T^4}(P_2 - P_1)$$

: ۵-۱۷۲

$$w = \theta^{\cdot} = 2\pi f_1 \theta_0 \cos 2\pi f_1 t = 2\pi(\frac{1}{4})(\frac{\pi}{4})\cos 2\pi(\frac{1}{4})(2) = -1.234 rad/s$$

$$w^{\cdot} = \theta^{\cdot\cdot} = -4\pi^2 f^2{}_1 \theta_0 \sin 2\pi f_1 t = 0$$

$$v_{rel} = y^{\cdot} = 2\pi f_2 y_0 \cos 2\pi f_2 t = 2\pi(\frac{1}{2})(0.15)\cos 2\pi(\frac{1}{2})(2) = 0.47 m/s$$

$$a_{rel} = y^{\cdot\cdot} = -4\pi^2 f_2^2 y_0 \sin 2\pi f_2 t = 0$$

$$a_C = w^{\cdot} * r + w * (w * r) + 2w * v_{rel} + a_{rel}$$

$$r = (1.5 + y + 0.9) j$$

$$y = 0.15 \sin 2\pi(\frac{1}{2})(2) = 0 \rightarrow r = 2.4 j$$

$$w^{\cdot} * r = 0, w * (w * r) = -1.234k * (-1.234k * 2.4 j) = -3.65 j$$

$$2w * v_{rel} = 2(-1.23k * 0.47 j) = 1.16 i$$

$$a_{rel} = 0$$

$$\rightarrow a_C = 1.16 i - 3.65 j$$

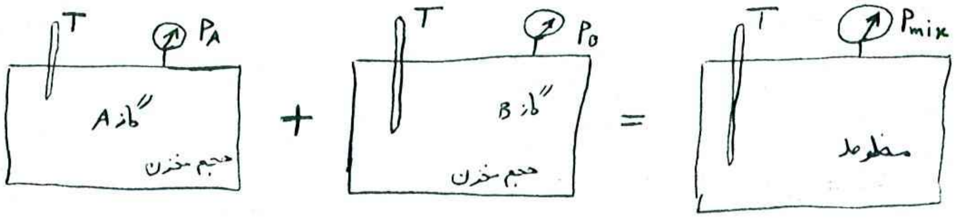
در این بخش بحث بررسی گازهای کامل خواهد بود لذا فاصله ذرات از یکدیگر زیاد است و می توان فرض کرد که هر جزء تحت تاثیر وجود اجزاء دیگر قرار نمی گیرد و بصورت مستقل عمل می کنند.

در یک حالت واقعی از مخلوطهای گازی در فشار بالا این فرض بدلیل ماهیت نیروهای بین مولکولی اجزاء مختلف احتمالاً حاکم نیست

دو الگو در مورد مخلوط گازهای کامل وجود دارد

الگوی دالتون

در این الگو فرض می شود که هر گاز به تنهایی در مخزن وجود دارد (در همان دما و حجم) - هر گاز به تنهایی کامل است - مخلوط هم کامل است




هر گاز به تنهایی کامل است
$$\begin{cases} P_A V = n_A \bar{R} T \\ P_B V = n_B \bar{R} T \end{cases}$$

مخلوط گاز کامل است
$$P_{mix} V = (n_{mix}) \bar{R} T$$

از طرفی داریم

$$n_{mix} = n_A + n_B$$

از رابطه بالا جایگزین می نماییم

$$\frac{P_{mix} V}{\bar{R} T} = \frac{P_A V}{\bar{R} T} + \frac{P_B V}{\bar{R} T}$$

$$\Rightarrow P_{mix} = P_A + P_B$$

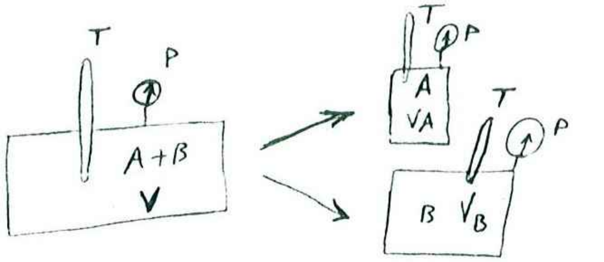
فشار مخلوط مساوی مجموع فشارهای جزئی است

دقت: عبارت فشار جزئی (فشار مربوط به هر جزء) فقط در صورتیکه فرض تحت تاثیر قرار نگرفتن اجزاء از یکدیگر معنی پیدا می کند و در غیر این صورت معنی ندارد

« دقت: فشار یک خاصیت مقداری نیست بنابراین نمی توان فرم مولی جزئی $n_{mix} P = n_A P_A + n_B P_B$ را برای آن نوشت »

همچنین از الگوی دالتون می توان نتیجه گرفت

$$\begin{matrix} PV = n \bar{R} T \\ P_A V = n_A \bar{R} T \end{matrix} \Rightarrow \frac{n_A}{n} = \frac{P_A}{P}$$




# الگوی آماگات

اگر مولکولهای گازهای A و B را جدا کرده و در دو ظرف قرار دهیم بطوریکه حجم ظرفها طوری در نظر گرفته شود که دما و فشار همان حالت اولیه را داشته باشد

$$PV = n\bar{R}T$$

$$\begin{cases} P_A V_A = n_A \bar{R} T \\ P_B V_B = n_B \bar{R} T \end{cases}$$

$$n = n_A + n_B \Rightarrow \frac{PV}{\bar{R}T} = \frac{P_A V_A}{\bar{R}T} + \frac{P_B V_B}{\bar{R}T}$$

چون فشارها یکسان هستند

$$V = V_A + V_B$$

$$\frac{V_A}{V} + \frac{V_B}{V} = 1$$

$V_A/V$ و $V_B/V$ را کسر حجمی گفته و نتیجه گرفته می‌شود جمع کسرهای حجمی در یک مخلوط یک است

همچنین از الگوی آماگات می‌توان نتیجه گرفت

$$PV = n\bar{R}T$$
$$PV_A = n_A\bar{R}T \Rightarrow \frac{n_A}{n} = \frac{V_A}{V}$$

با مشابه چنین نتیجه از الگوی ترکیب شود خواهیم داشت

$$\frac{V_A}{V} = \frac{P_A}{P} = \frac{n_A}{n}$$

«کسر حجمی با کسر مولی برابر است»

«کسر مولی با نسبت فشار جزئی به فشار کل برابر است»

---

انرژی داخلی و انتالپی و انتروپی برای مخلوط

$$U = n\bar{u} = n_A\bar{u}_A + n_B u_B \qquad U = mu = m_A u_A + m_B u_B$$

$$H = n\bar{h} = n_B\bar{h}_B + n_A\bar{h}_A \qquad H = mh = m_A h_A + m_B h_B$$

انرژی داخلی و انتالپی گازهای کامل فقط تابع دما می‌باشند لذا با داشتن دمای مخلوط مشکلی وجود نخواهد داشت

انتروپی تابع فشار و دماست از آنجا که هر جزء در فشار جزئی خودش در مخلوط وجود دارد

$$S = n\bar{s} = n_A\bar{s}_A + n_B\bar{s}_B \qquad S = ms = m_A s_A + m_B s_B$$

$\bar{S}_A$ انتروپی یک مول A در دمای T مخلوط و فشار جزئی $P_A$

$\bar{S}_B$ 〃 〃 〃 〃 B 〃 〃 〃 〃 〃 〃 $P_B$

تعریف $C_p$ و $C_v$ برای مخلوط

$$mC_v = m_A C_{vA} + m_B C_{vB} \qquad n\bar{C}_v = n_A\bar{C}_{vA} + n_B\bar{C}_{vB}$$

$$mC_p = m_A C_{pA} + m_B C_{pB} \qquad n\bar{C}_p = n_A C_{pA} + n_B C_{pB}$$

مثال 7.1 مولفین

یک مخزن حاوی 0.907 kg نیتروژن در فشار 2000 Kpa و دمای 37.8 °c می‌باشد. اکسیژن به آن افزوده می‌شود تا فشار به 2666 Kpa برسد. فرآیند دما ثابت صورت می‌گیرد. مقدار اکسیژن افزوده شده را بدست آورید

$$\boxed{T \; P_N \; N_2} + \boxed{T \; P_o \; O_2} = \boxed{T \; P \; O_2+N_2}$$

$$P_N V = n_N \bar{R} T$$
$$P_o V = n_o \bar{R} T \Rightarrow \frac{P_o}{P_N} = \frac{n_o}{n_N} = \frac{2666-2000}{2000} = 0.333$$

$$\frac{n_o}{n_N} = \frac{m_o/M_o}{m_N/M_N} = 0.333 \Rightarrow m_o = \frac{M_o \times m_N}{M_N} = \frac{32 \times 0.907 \times 0.333}{28} = 0.345 \text{ Kg}$$

روش ساده‌تر

$$P_N V = m_N R_N T$$
$$P_o V = m_o R_o T \Rightarrow \frac{P_o}{P_N} = \frac{m_o}{m_N}\frac{R_o}{R_N} \Rightarrow \frac{m_o}{m_N}\frac{M_N}{M_o}$$

$$m_o = \frac{P_o}{P_N}\frac{M_o}{M_N} m_N = \left(\frac{2666-2000}{2000}\right)\left(\frac{32}{28}\right)(0.907) = 0.345 \text{ kg}$$

---

مثال 7.2 اگر هر یک از دو گاز مثال بالا در مخزن جداگانه قرار گیرند بطوری که همان فشار و دمای نهائی را داشته باشند حجم هر مخزن را بیابید

$$\boxed{V \; T, P \; O_2+N_2} = \boxed{V_o \; T, P \; O_2} + \boxed{V_N \; T, P \; N_2}$$

$$P_o V_o = m_o R T_o \longrightarrow V_o = \frac{m_o R T_o}{P_o} = \frac{(0.345)(0.25983)(311)}{2666} = 0.0104$$

$$P_N V_N = m_N R_N T$$

$$V_N = m = \frac{(0.907)(0.29680)(311)}{2666} = 0.0314$$

$$V_{vesel} = V_N + V_o = 0.0418$$

مثال 1-11

درصد حجمی یک مخلوط گاز بصورت زیر است مطلوبست درصد جرمی - وزن مولکولی و ثابت گاز

($CO_2$ %12) ($O_2$ 4%) ($N_2$ 82%) ($CO$ 2%)

توجه: درصد حجمی با درصد مولی یکسان است

1 kmol:

$$0.12\ kmol\ CO_2 \Rightarrow m_{CO_2} = M \times n = 44 \times .12 = 5.28\ kg \longrightarrow \frac{m_{CO_2}}{\Sigma m} = \frac{5.28}{30.08} = 17.55\ \%$$

$$.04\ kmol\ O_2 \Rightarrow m_{O_2} = M \times n = 32 \times .04 = 1.28\ kg \longrightarrow \frac{m_{O_2}}{\Sigma m} = \frac{1.28}{30.08} = 4.26\ \%$$

$$0.82\ kmol\ N_2 \Rightarrow m_{N_2} = M \times n = 28 \times .82 = 22.96\ kg \longrightarrow \frac{m_{N_2}}{\Sigma m} = \frac{22.96}{30.08} = 76.33\ \%$$

$$.02\ kmol\ CO \Rightarrow m_{CO} = M \times n = 28 \times .02 = .56\ kg \longrightarrow \frac{m_{CO}}{\Sigma m} = \frac{.56}{30.08} = 1.86\ \%$$

$$\Sigma m = 30.08\ kg$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{30.08}{1} = 30.08\ kg/kmol$$

$$R = \bar{R}/M = \frac{8.3144}{30.08} = .2764\ kJ/kg\,K$$

روش فوق را در جهت عکس نیز می‌توان بکار برد یعنی اگر درصد جرمی داده شود

1 kg:

$$.1755\ kg\ CO_2 \longrightarrow kmol_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = .00399 \longrightarrow \frac{kmol\ CO_2}{\Sigma\ kmol} = \frac{.00399}{.03324} = 12\ \%$$

$$.0426\ kg\ O_2 \longrightarrow \text{------} = .00133 \longrightarrow \text{------} = 4\ \%$$

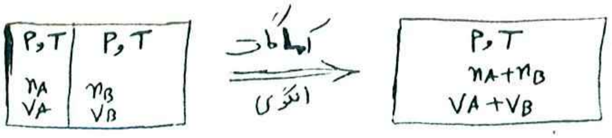
$$.7633\ kg\ N_2 \longrightarrow \text{------} = .02726 \longrightarrow \text{------} = 82\ \%$$

$$.0186\ kg\ CO \longrightarrow \text{------} = .00066 \longrightarrow \text{------} = 2\ \%$$

$$\Sigma\ kmol\ .03324$$

## مثال 2-11

طی یک فرایند آدیاباتیک حجم ثابت $n_A$ مول گاز A در فشار و دمای معین با $n_B$ مول گاز B در همان فشار و دما مخلوط می‌شوند تغییر آنتروپی را بیابید




$$(S_2-S_1)_A = C_{p0}\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$(\bar{S}_2-\bar{S}_1)_A = \bar{C}_{p0}\ln\frac{T_2}{T_1} - \bar{R}\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$(S_2-S_1)_A = n_A\bar{C}_{p0}\ln\frac{T_2}{T_1} - n_A\bar{R}\ln\frac{P_2}{P_1}$$

برای مسئله که دما ثابت است جمله اول صفر است و فشار در حالت دوم برای A برابر فشار جزئی $P_A$ می‌باشد

$$(S_2-S_1)_A = -n_A\bar{R}\ln\frac{P_A}{P}$$

به همین ترتیب برای B داریم

$$(S_2-S_1)_B = -n_B\bar{R}\ln\frac{P_B}{P}$$

مجموع دو جمله تغییر آنتروپی مخلوط خواهد بود

$$(S_2-S_1) = -\bar{R}\left(n_B\ln\frac{P_B}{P} + n_A\ln\frac{P_A}{P}\right)$$

$$= -\bar{R}\left(n_B\ln y_B + n_A\ln y_A\right)$$

دقت: تغییر آنتروپی فقط به تعداد مولها بستگی داشته به نوع گاز بستگی ندارد

اگر دو گازی که مخلوط می‌شوند از یک جنس باشند تغییر آنتروپی صفر می‌شود که از نظر ریاضی نیز (۹) حل صفر می‌شود

مثال نکته: لگاریتم عدد کوچکتر از یک منفی است بنابراین تغییر آنتروپی مثبت می‌شود یعنی آنتروپی افزایش می‌یابد

سیستم ساده برای مخلوطی که شامل گاز یا بخاری باشد

مخلوطی از یک گاز ایده‌آل و یک مایع یا جامد را در نظر می‌گیریم. نمونه بارز چنین مخلوطی وجود هوا در کنار آب و یا یخ می‌باشد

بررسی چنین مخلوطهائی با اعمال فرضهای زیر نتایج با دقت خوبی را به همراه دارد

فرضیات

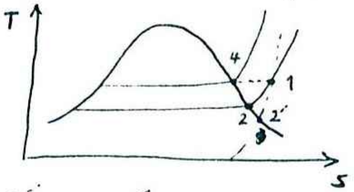
1 - جامد یا مایع در خود گاز حل شده نداشته باشد

2 - فاز گازی را یک مخلوط ایده‌آل در نظر گرفته شود

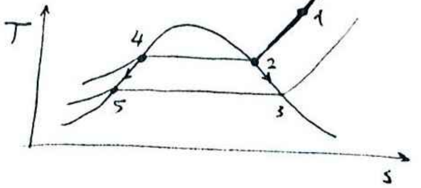
3 - وقتی مخلوط گازی و مایع در یک دمای مخصوص (فشار) وجود دارند مایع و بخار آن بدون آنکه تاثیری از جانب گاز دیگر مخلوط بگیرند در حالت تعادل با یکدیگر باشند بعبارتی در حالت تعادل فشار جزئی بخار برابر فشار اشباع مایع در دمای حاکم باشد.

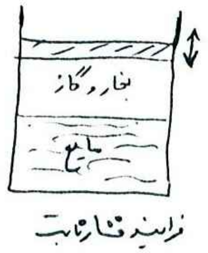
در ادامه بحث مخلوطی با شرایط بالا را مخلوط گاز - بخار می‌نامیم

نقطه شبنم - اگر مخلوط گاز - بخار در فشار ثابت سرد شود در دمای مخصوص کندانس بخار شروع می‌شود. به این دما نقطه شبنم گویند (شکل زیر) در این حالت به مخلوط (مخلوط اشباع) گویند !۷۰ص




در نقطه 1 فشار جزئی بخار و میزان دما به اندازه‌ای است که حالت سوپرهیت است. اگر مخلوط در فشار ثابت سرد شود فشار جزئی بخار آب نیز ثابت باقی می‌ماند تا آنکه به نقطه 2 برسد که همان نقطه شبنم می‌باشد و کندانس بخار شروع می‌شود در چنین حالتی بخار و کندانس آن (مستقطره) در حالت تعادل می‌باشند از این نقطه اگر دمای مخلوط گاز - بخار پایین‌تر بیاید فشار جزئی بخار کاهش می‌یابد. با کاهش دما از نقطه 2 به بعد مخلوط همیشه در حالت اشباع می‌باشد. مسیر حرکت بخار در این وضعیت از 2 به 3 روی منحنی گاز اشباع و مسیر حرکت مایع از 4 به 5 روی خط مایع اشباع خواهد بود (هر نقطه از مسیر حالت بخار اشباع است)



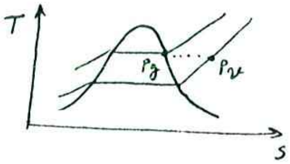

فرایند فشار ثابت

اگر عمل سرد کردن مخلوط بخار - گاز در حجم ثابت صورت گیرد در شکل بالا مشاهده می‌شود که کندانس در نقطه‌ای پایین‌تر از نقطه شبنم صورت می‌گیرد (نقطه 2′)
علت این است که در این نوع سرد کردن فشار کاهش می‌یابد و در فشارهای پایین دمای اشباع پایین‌تر است

برای مخلوط بخار آب و گاز که در نقطه شبنم باشند اصطلاح هوای اشباع بکار برده می‌شود

رطوبت نسبی relative humidity بصورت نسبت مولی بخار در مخلوط به نسبت مولی بخار در مخلوط اشباعی که در همان دما و فشار کل باشد تعریف می‌شود

چون بخار گاز ایده‌آل فرض شده این تعریف معادل نسبت فشار جزئی بخار در مخلوط $P_v$ به فشار جزئی بخار در مخلوط اشباع $P_g$ در همان دما می‌باشد




$$(I) \quad \phi = P_v / P_g$$

بدلیل ایده‌آل بودن بخار

$$\left.\begin{array}{l} P_v = \rho_v R T \\ P_g = \rho_g R T \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{P_v}{P_g} = \frac{\rho_v}{\rho_g} = \frac{v_g}{v_v}$$

$$\Rightarrow \phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{v_g}{v_v}$$

در مخلوط بخار آب - هوا

نسبت رطوبت (رطوبت مخصوص) بصورت نسبت جرم بخار آب $m_v$ به جرم هوا $m_a$ تعریف می‌شود

humidity

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

(برای سایر مخلوط‌ها بجای جرم هوا می‌توان در رابطه جرم گاز مربوطه را نوشت و از این تعریف استفاده کرد)

با در نظر داشتن بخار و هوا بعنوان گاز کامل

$$\omega = \frac{\dfrac{P_v V}{R_v T}}{\dfrac{P_a V}{R_a T}} = \frac{P_v R_a}{P_a R_v} = \frac{P_v (\bar{R}/M_a)}{P_a (\bar{R}/M_v)} = \frac{P_v M_v}{P_a M_a}$$

برای بخار آب و هوا مقدار جرم مولکولی مقدار مشخص است با جایگزینی

$$\text{II} \quad \omega = 0.622 \frac{P_v}{P_a}$$

درجه اشباع « degree of saturation » بصورت نسبت رطوبت مخصوص به رطوبت مخصوص اگر مخلوط در حالت اشباع تحت همان دما و فشار کل تعریف می‌شود

از حذف $P_v$ بین دو رابطه I و II دو کمیت $\phi$ و $\omega$ به هم مرتبط می‌شوند

$$\phi = \frac{\omega P_a}{0.622 P_g}$$

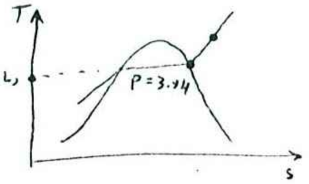
## مثال 11-3

$100\ m^3$ از مخلوط هوا ـ بخار آب در $0.1\ MPa$ و $35^\circ C$ با رطوبت نسبی $70\%$ را در نظر بگیرید نقطه رطوبت نقطه شبنم جرم هوا و جرم بخار را حساب کنید

$$T = 35 \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} P_g = P_{sat} = 5.628$$

$$\phi = 0.7 = \frac{P_v}{P_g} \Rightarrow P_v = (5.626)(.7) = 3.94\ kPa$$

$$P_v = 3.94\ kPa \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} T_{dew} = T_{sat} = 28.6^\circ C$$ دمای شبنم




$$\omega = .622\ \frac{P_v}{P_a} = \frac{3.94}{100 - 3.94} = .0255$$

$$m_a = \frac{P_a V}{R_a T} = \frac{96.04 \times 100}{0.287 \times 308.15} = 108.6\ kg$$

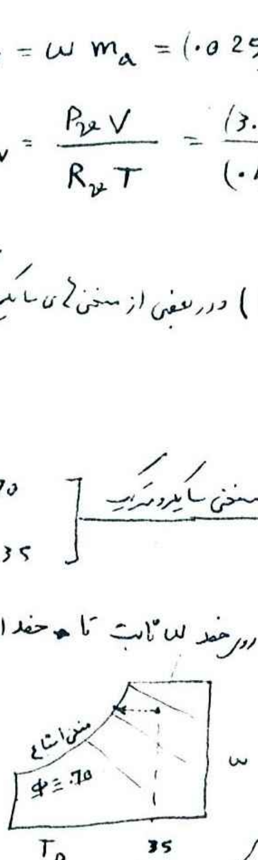
$$\begin{cases} m_v = \omega\, m_a = (.0255)(108.6) = 2.77\ kg \\ m_v = \dfrac{P_v V}{R_v T} = \dfrac{(3.94)(100)}{(.46152)(308.15)} = 2.77\ kg \end{cases}$$

— پارامترهایی که در منحنی سایکرومتریک وجود دارند عبارتند از ( $\omega$ و $\phi$ و $T_{Dry}$ و $T_{wet}$ و $h_{mix}$ ) در بعضی از منحنی های سایکرومتریک حجم مخصوص $v$ مخلوط هم وجود دارد

در مسئله حاضر دو پارامتر از 5 پارامتر ارائه شده، بنابراین

$$\left.\begin{matrix} \phi = 70\% \\ T_{Dray} = 35 \end{matrix}\right] \xrightarrow{\text{منحنی سایکرومتریک}} \begin{matrix} \omega = .0255 \\ T_{wet} = 29.6 \end{matrix}$$

می توان نقطه شبنم را از منحنی بدست آورد نقطه ($T_D = 35$ و $\phi = 70\%$) را روی منحنی مشخص و روی خط $\omega$ ثابت تا خط اشباع امتداد می دهیم از محل تلاقی دمای تری که خوانده می شود همان دمای شبنم است




مثال 11.4 اگر مخلوط مثال قبل تا $5^\circ C$ در فشار کل ثابت سرد شود جرم آب کندانس شده را بدست آورید

از دمای شبنم به پایین تر مسیر حرکت مطابق شکل زیر است یعنی همیشه حالت اشباع حاکم است

$$T = 5^\circ \xrightarrow{\text{جدول اشباع بخار آب}} P_v = P_{sat} = .8721\ kPa$$

$$m_{v_2} = \frac{P_v V}{R_v T} = \frac{(.8721)(100)}{(.46152)(278.15)} =$$

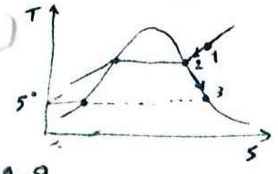
رابطه جواب درست نمی دهد چون فرایند حجم ثابت نیست و در این رابطه دیگر $V = 100$ را نباید بکار برد باید $V$ جدید محاسبه شود $V = \frac{R_a m T}{P_a}$

$$\omega_2 = .622\ \frac{P_v}{P_a} = .622\ \frac{.8721}{100 - .821}$$

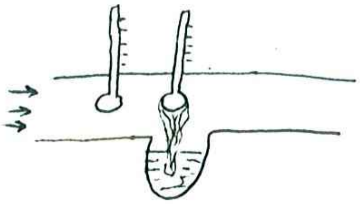
$$\omega_2 = .0055$$

$$m_{liquid} = m_{v_1} - m_{v_2} = m_a(\omega_1 - \omega_2)$$

$$= 108.6(.0255 - .0055) = 2.172\ kg$$



# دمای تر و دمای خشک



دو دماسنج مطابق شکل در مسیر هوا قرار می‌گیرند یکی از دماسنج‌ها بصورت معمولی و دماسنج دیگر با پوشش از کتان که بصورت فتیله عمل می‌کند و آبی را که در مخزن تعبیه شده وجود دارد بالا کشیده و اطراف حباب دماسنج تر را مرطوب نگه می‌دارد

اگر هوائی که از سطح فتیله دمیده می‌شود کاملاً اشباع باشد دمای خشک و تر یکسان خواهند بود چون هوای اشباع نمی‌تواند آب اطراف حباب دماسنج تر را بخار نماید و از درجه حرارت آن بکاهد

هر چقدر هوای ورودی خشک‌تر باشد میزان تبخیر آب اطراف حباب تر بیشتر خواهد بود و بعلت گرمای نهان تبخیر مورد نیاز دمای تر از دمای خشک اختلاف بیشتری نشان خواهد داد از این روش می‌توان جهت اندازه‌گیری رطوبت هوا سود برد

منحنی‌های سایکرومتریک مقدار رطوبت مطلق و نسبی را برحسب دمای خشک و تر بدست می‌دهند منحنی آخر کتاب برای فشار کل $1\,bar$ ترسیم شده است در بعضی از منحنی‌ها ضریب تصحیحی ارائه می‌شود که برای فشار کل دیگر می‌توان از منحنی سود برد (با استفاده از ضریب تصحیح)

- انتالپی ارائه شده در منحنی سایکرومتریک برای کل مخلوط هوا - بخار می‌باشد (انتالپی مخلوط بر کیلوگرم هوای خشک) بنابراین برای بدست آوردن $m$ کیلوگرم از مخلوط باید مقدار انتالپی قرائت شده در $m_a = (m - m_v)$ ضرب شود

- طبق رابطه $\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_a}$ که می‌توان آنرا بنویسیم $\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_t - P_v}$ نوشت برای یک فشار کل $P_t$ مخصوص به هر $\omega$ می‌توان یک فشار جزئی بخار آب $P_v$ نسبت داد بدین ترتیب با ترسیم خطی به موازات محور $\omega$ با انتخاب مقیاس مناسب می‌توان $P_v$ را روی نمودار نمایش داد

- برای اینکه انتقال حرارت تشعشعی کوچک (در مقایسه با جابجائی کوچک باشد) سرعت هوا باید بیشتر از $3\,m/s$ باشد تا بتوان از انتقال حرارت تشعشعی صرفنظر کرد

- مقداری از آب موجود در فتیله تبخیر می‌شود این تبخیر با کاهش دمای آب موجود در فتیله همراه است اما همین که دمای آب فتیله افت کرد از هوای اطراف و همچنین دماسنج گرما می‌گیرد حالت پایدار حالتی است که آهنگ انتقال جرم و گرما تعیین کننده آن هستند

- دمای تر متاثر از آهنگ انتقال جرم و انتقال گرماست ولی دمای آدیاباتیک اشباع دمائی است که هوا بخار در عبور از آب می‌گیرد

- دمای تر به میزان کمی با دمای آدیاباتیک اشباع متفاوت است و این بدلیل دیفیوژن جرم بر روی سطح فتیله و گرادیان دمای حاصله می‌باشد

- در فشار و دمای جو دمای تر و آدیاباتیک مساوی هستند

تکلیف : فصل 11 (10) (13) (15) (16) (23)

اطلاعاتی راجع به نمودار سایکرومتریک psychrometric charts

— سطح مبنا یا تراز

آنتالپی هوای خشک در $0°C$ برابر 0

آنتالپی آب اشباع در $0°C$ برابر 0

— حجم مخصوصی که در نمودار آمده مطابق تعریف زیر است

$$v_a = \frac{\text{حجم مخلوط}}{\text{جرم هوای موجود در حجم مخلوط}} = \frac{V}{m_a}$$

← چون بخار و هوا با هم تمام فضا را اشغال می‌کنند حجم مخصوص هوا خشک می‌شود

بنابراین برای بدست آوردن حجم مخصوص مخلوط

$$V = m_a v_a$$

$$v_{mix} = \frac{V}{m_{mix}} = \frac{m_a v_a}{m_a(1+\omega)} = \frac{v_a}{1+\omega}$$

— آنتالپی در نمودار آنتالپی مخلوط بر واحد جرم هوای خشک است

$$h_{mix} = h_a + \omega h_v$$

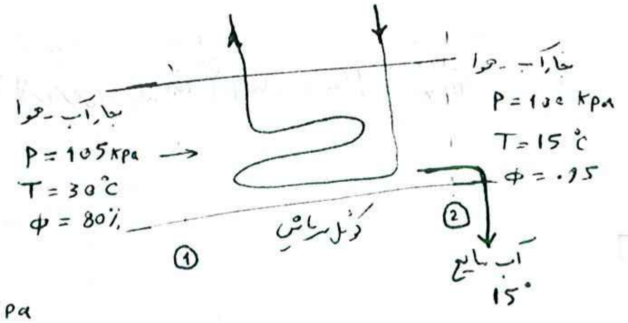
آنتالپی کل مخلوط $H = m_a h_{mix} = m_a h_a + m_a \omega h_v = m_a h_a + m_v h_v$

## قانون اول برای مخلوط گاز ـ بخار

برای اعمال قانون اول می‌توان اجزاء را بصورت جدا از هم در نظر گرفت در مورد مخلوط بخار آب ـ هوا می‌توان برای هوا از روابط گاز کامل و برای بخار آب از جدول ترمودینامیکی استفاده نمود

نکته (برای بخار آب چون گاز کامل در نظر گرفته می‌شود فشار آن ~~کمتر~~ انتالپی آن فقط تابع درجه حرارت خواهد بود و می‌توان انتالپی بخار آب را برابر انتالپی بخار اشباع ـ هم دما با آن اتخاذ نمود)

مثال 11.5 یک واحد تهویه مطبوع در شکل نشان داده شده مقدار انتقال حرارت در هر kg از هوای خشک را با صرفنظر از انرژی جنبشی ناچیز بدست آورید




$$\begin{cases} 30\,°C \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} P_g = 4.246 \\ P_{v_1} = \phi_1 P_{g_1} = (0.8)(4.246) = 3.397 \text{ kPa} \\ \omega_1 = 0.622 \dfrac{P_{v_1}}{P_{a_1}} = .622 \dfrac{3.397}{105 - 3.397} = .0208 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 15\,°C \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} P_g = 1.7051 \\ P_{v_2} = \phi_2 P_{g_2} = (.95)(1.7051) = 1.620 \text{ kPa} \\ \omega_2 = .622 \dfrac{P_{v_2}}{P_{a_2}} = .622 \dfrac{1.62}{100 - 1.62} = .0102 \end{cases}$$

قانون اول $\quad Q_{c.v} + \sum m_i h_i - \sum m_e h_e = 0$

$$Q_{c.v} + (m_a h_{a_1} + m_{v_1} h_{v_1}) - [m_a h_{a_2} + m_{v_2} h_{v_2} + m_l h_l]$$

$$m_l = m_{v_1} - m_{v_2}$$

$$Q_{c.v} = m_a (h_{a_2} - h_{a_1}) + m_{v_2} h_{v_2} - m_{v_1} h_{v_1} + m_l h_l$$

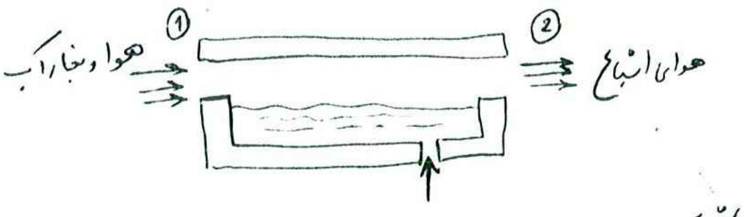
$$Q_{c.v}/m_a = (h_{a_2} - h_{a_1}) + \omega_2 h_{v_2} - \omega_1 h_{v_1} + (\omega_1 - \omega_2) h_l$$

$$\begin{cases} h_{v_2} = h_g(15) = 2528.9 \\ h_{v_1} = h_g(30) = 2556.3 \\ h_l = h_f(15) = 62.99 \end{cases} \quad \frac{Q_{c.v}}{m_a} = \overset{c_{pa}}{1.0035}(15-30) + (.0102)(2528.9) - (.0208)(2556.3) + (.0208 - .0102)\,62.99 = -41.76 \ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg dry air}}$$

توضیح: انتالپی مایع اشباع را همین‌طوری الزاماً از جدول باید محاسبه شود از طرفی برای جدول بخار آب یک نقطه دلخواه مبناء و صفر اتخاذ شده است پس چون برای مایع اشباع از جدول استفاده می‌شود باید برای بخار آب نیز از جدول استفاده شود که مبناء مورد نظر در مورد آن نیز اعمال شده است (اگر چنانچه میعان صورت نمی‌گرفت می‌توانستیم از رابطه $\Delta h_v = c_{p_v} \Delta T$ استفاده کنیم در مسئله حاضر همین‌طور چون جرم بخار تغییر می‌کند و نمی‌توان رابطه‌ای تفاضلی $\dot{m} c_p \Delta T$ نوشت چون $\dot{m}$ در ① و ② یکسان نیست و نمی‌توان فاکتور گیری کرد)

saturation adiabatic temperature

## — فرایند آدیاباتیک اشباع




در این فرایند هوای غیراشباع در حین عبور از یک استخر مقداری آب را تبخیر کرده و اشباع می‌شود (مسیر به اندازه‌ای است که خروجی حتماً اشباع باشد) ضمناً برای SF بودن جریان همیشه مقداری آب جبرانی تغذیه می‌شود

دمای هوا در خروج را هوای اشباع آدیاباتیک هوای ورودی گویند (کل مخزن عایق و از بیرون هیچگونه تبادل حرارتی صورت نمی‌گیرد)

$\dot{m}_w = (\omega_2 - \omega_1)\,\dot{m}_a$ با لانس جرمی

رابطه SF را بصورت زیر می‌توان نوشت

$$h_{a1} + h_{v_1}\omega_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_{l_2} = h_{a2} + \omega_2 h_{v_2}$$

$$\omega_1 (h_{v_1} - h_{l_2}) = C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 (h_{v_2} - h_{l2})$$

$$\omega_1 (h_{v_1} - h_{f_2}) = C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 (h_{fg2})$$

$$\omega_1 = \frac{C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 (h_{fg2})}{(h_{v_1} - h_{f_2})}$$

بدین ترتیب با گذاشتن دو دماسنج در ورود و خروج می‌توان رطوبت مطلق هوای ورودی را اندازه‌گیری نمود و با داشتن رطوبت مطلق و استفاده از رابطه $\omega = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}$ و علم به فشار کل هوای ورودی می‌توان $P_v$ را بدست آورد و همچنین مقدار رطوبت نسبی را از رابطه $\phi = \frac{P_v}{P_g}$ بدست آورد

---

رابطه‌ی زیر را می‌توان برای فشارهای پایین بکار گرفت و توانائی آن در حد نمودار سایکرومتریک می‌باشد

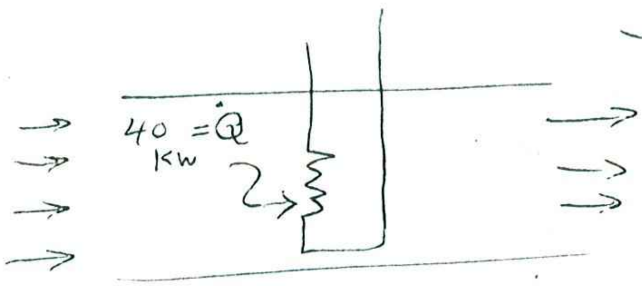
$$P_v = P_{gw} - \frac{(P - P_{gw})(T_{DB} - T_{WB})}{1537.8 - T_{WB}} \quad \text{for } T > 0^\circ C$$

$$P_v = P_{gw} - \frac{P(T_{DB} - T_{WB})}{1756} \quad \text{for } T < 0^\circ C$$

$P_v$ فشار بخار
$P_{gw}$ فشار اشباع متناظر به دمای تر
$P$ فشار کلی مخلوط

(رابطه‌ی 7-53 و 7-54 مولفین)

در کانال هواساز شکل مطلوبست دمای خشک و رطوبت نسبی در خروجی




$T_d = 25^\circ$

$\phi = 90\%$

$P = 100\,kPa$

$\dot{m}_a = 2\,kg/s$

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

در فرایند گرمکردن $\omega$ ثابت است

(1) $T_d = 25$, $\phi = 90\%$ ⟶ $h_{mix_1} = 90$, $\omega_1 = .018$

$$\dot{m}_a h_{mix_1} + \dot{Q} = \dot{m}_a h_{mix_2}$$

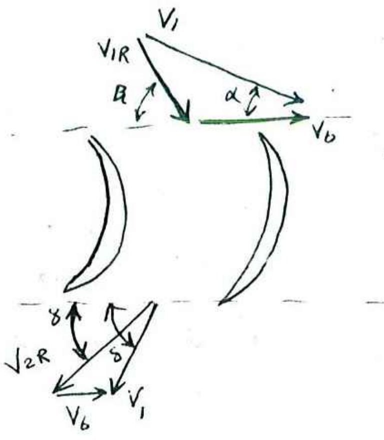
$h_{mix_2} = 110\ KJ/kg$

$\omega_2 = \omega_1 = .018$

⟶ (سایکرومتریک) $\phi = 30\%$, $T_d = 45^\circ C$

flow through blade passage — جریان از میان پره‌ها 14.12

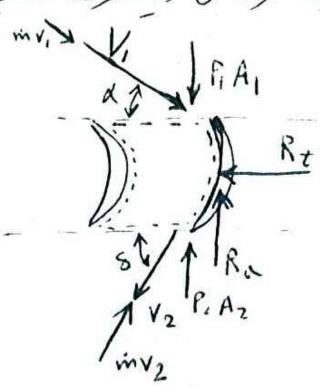
- در این مبحث جریان یکنواخت و موازی و یک بعدی در نظر گرفته می‌شود
- این مبحث جهت تجزیه و تحلیل کمپرسورها و توربین‌های متعدد واقع می‌شود




$$\vec{V_1} = \vec{V_b} + \vec{V_{1R}}$$

دیاگرام برداری سرعت یک توربین

برای بررسی یک پره توربین تغییرات سطح کنترلی از دیدگاه یک ناظر ساکن و یا متحرک مطابق شکل زیر در نظر گرفته شود




ناظر ساکن

معادلات مومنتم:

$$\Sigma F_x = m a_x = 0$$

$$-R_t + \dot m V_1 \cos\alpha + \dot m V_2 \cos\delta = 0$$

$$\boxed{R_t = \dot m (V_1 \cos\alpha + V_2 \cos\delta)}$$ نیروی مماسی

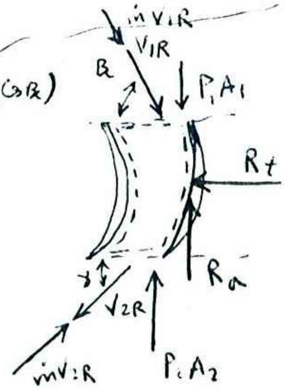
$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_a + P_2 A_2 - P_1 A_1 + \dot m V_2 \sin\delta - \dot m V_1 \sin\alpha = 0$$

$$\boxed{R_a = (P_1 A_1 - P_2 A_2) + \dot m (V_1 \sin\alpha - V_2 \sin\delta)}$$

معادله انرژی

$$h_1 + V_1^2/2 = h_2 + V_2^2/2 + w \qquad w = (h_1 - h_2) + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right)$$




معادله مومنتم

$$\Sigma F_x = 0 \quad -R_t + \dot m V_{2R}\cos\gamma + \dot m V_{1R}\cos\beta \Rightarrow R_t = \dot m (V_{2R}\cos\gamma + V_{1R}\cos\beta)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad P_2 A_2 - P_1 A_1 + \dot m V_{2R}\sin\gamma - \dot m V_{1R}\sin\beta + R_a = 0$$

$$R_a = (P_1 A_1 - P_2 A_2) + (V_{1R}\sin\beta - V_{2R}\sin\gamma)\dot m$$

معادله انرژی

$$h_1 + V_{1R}^2/2 = h_2 + V_{2R}^2/2$$

از دید ناظر متحرک تیغه حرکتی ندارد و کاری انجام نمی‌شود

$$w = \frac{(V_1^2 - V_{R1}^2) - (V_2^2 - V_{2R}^2)}{2}$$

از تفاضل معادله انرژی بدست آمده از دو حالت رابطه دیگری برای کار بدست می‌آید

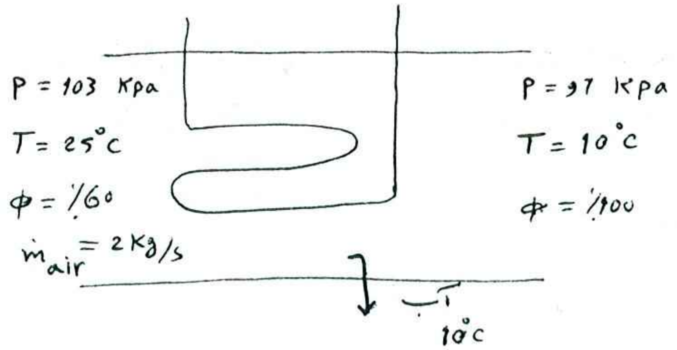
توان پره $\dot W = \dot m w$

$$\dot W = R_t V_b = \dot m V_b (V_1 \cos\alpha + V_2 \cos\delta)$$

در یک کانال هوا در حین عبور از یک کوئل سرد شده و مقداری از بخار آن کندانس می‌شود. شرایط ورودی و خروجی روی شکل نشان داده شده است

الف - دبی جرمی کندانس و میزان نرخ انتقال حرارت کوئل را بدست آورید

ب - اگر پس از فرایند ذکر شده هوا مجدداً تا دمای 25°c گرم شود رطوبت نسبی آن چقدر خواهد بود




$$\begin{cases} 25^\circ c \rightarrow P_g = 3.169 \text{ Kpa} \\ P_{v_1} = \phi P_g = 0.6(3.169) = 1.9 \text{ Kpa} \\ \omega_1 = .622 \dfrac{P_v}{P_a} = .622 \dfrac{1.9}{103-1.9} = .0117 \\ h_1 = 57 \text{ KJ/Kg air Dray} \\ T_{w_1} = 19.7^\circ C \\ h_{v_1} = h_g(25) = 2547.2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 10^\circ c \rightarrow P_g = 1.2276 \\ P_{v_2} = 1.2276 \\ \omega_2 = .0079 \\ h_2 = 30 \text{ KJ/Kg air Dray} \\ h_{v_2} = h_g(10) = 2519.8 \end{cases}$$

$$\dot m_l = \dot m_a(\omega_1 - \omega_2) = (2)(.0117 - .0079) \times 10^3 = 7.6 \text{ g/s}$$

$$Q_{c.v} + \sum \dot m_i h_i = \sum \dot m_e h_e \rightarrow Q_{c.v} = \dot m_a C_p (T_2 - T_1) + \dot m_a \omega_2 h_{v_2} + \dot m_l h_l - \dot m_a \omega_1 h_{v_1}$$

$$Q_{c.v} = (2)(1.0035)(-15) + (2)(.0065)(2519.8) + (10.4 \times 10^{-3})(42.01) - (2) \times (.0117)(2547.2)$$

$$Q_{c.v} = -49.47 \text{ KW}$$

استفاده از انتالپی سایکرومتریک چارت

$$Q_{c.v} = \dot m_a (h_2 - h_1) + \dot m_l h_l = (2)(30 - 57) + (10.4 \times 10^{-3})(42.01) = 53.56 \text{ KW}$$

انتالپی در منحنی انتالپی معلوم بر کیلوگرم هوای خشک می‌باشد

ب - فرایند بصورت w ثابت تا 25 صورت می‌گیرد از روی منحنی سایکرومتریک

$\phi = \%100$ $\xrightarrow{w \text{ ثابت}}$ $25^\circ c$

$T = 10^\circ C$ $\quad \phi = \%38$

بنام خدا

مسئله 11-15

یک مخلوط هوا - بخار ( $25^\circ C$ $100 kPa$ $\phi = \%50$ ) تا فشار $300 kPa$ و دمای $50^\circ C$

فشرده می‌شود سپس در طی فرایند فشار ثابت سرد می‌شود؛ تا در چه دمایی چگالش شروع می‌شود

① $25^\circ C$, $\%50 = \phi$, $P = 100$ —— کمپرس ——→ ② $\{ P = 300,\ T = 50^\circ C$ —— سرد می‌شود / فشار ثابت ——→ شروع چگالش ③

فرض می‌کنیم چگالش در مرحله اول صورت نگرفته باشد

$$\begin{cases} \omega_2 = \omega_1 = .01 \\ P = 300\ kPa \end{cases}$$

$$\omega = .622 \frac{P_v}{P_a}$$

$$P_{v_2} = \frac{\omega_2 P_2}{.622 + \omega_2} = 4.747$$

کنترل فرض: برای آنکه فرض درست باشد باید $\phi_2 < \%100$ باشد

$$50 \rightarrow P_g = 12.349$$

$$\phi_2 = \frac{P_{v_2}}{P_g} = \frac{4.747}{12.349} = .384$$

فرض درست است

$$\left.\begin{aligned} \omega_3 = \omega_2 = \omega_1 = .01 \\ P_{v_3} = P_{v_2} = 4.747 \end{aligned}\right\} \rightarrow T_{sat} = 31.8^\circ C$$

$$\phi_3 = \%100$$

11-16

مثال 3-5 هولمن

مسئله: مخزنی حاوی بخار 200°C تحت فشار 700 kPa است اگر مخزن سرد شود در چه دمائی تقطیر شروع می‌شود و میزان انتقال حرارت تا این نقطه چقدر خواهد بود ب/ تا چه دمائی باید سرد شدن ادامه یابد تا کیفیت بخار داخل مخزن برابر 50% شود

$v_1 = .2999 \ m^3/kg$

$v_2 = v_1 = .2999 \rightarrow v_g = .2999 \xrightarrow[\text{اشباع}]{\text{جدول}} T = 161.1\ ^\circ C$

$P = 636.9 \ kPa$

ب)

$v_3 = v_1 = .2999$

$v_3 = x v_g + (1-x) v_f$

آزمون و خطا:

$0.2999 = 0.5 v_g + 0.5 v_f$

باید دما حدس زده شود $v_f$ و $v_g$ از جدول استخراج آید و رابطه فوق کنترل شود

برای حدس اولیه فرض می‌توان نوشت

$v_3 \simeq .5 \, v_{g3}$

چون $v_f$ خیلی کوچک است (در قیاس با $v_g$)

جواب: $T_3 = 134.3$ $P_3 = 303.3$

مثال 8-7 هولمن

یک مخلوط هوا-بخار آب تحت فشار 150 KPa دارای دمای خشک 35°C و رطوبت نسبی 60% است دمای تر و نقطه شبنم را بیابید

$P_g(35) = 5.628\ KPa$

$P_v = \phi P_g = 3.3768\ KPa$

$T_{dew} = T_{sat}(3.3768\ KPa) = 25.96°C$

$$P_v - P_{gw} + \frac{(P - P_{gw})(T_{DB} - T_{WB})}{1537.8 - T_{WB}} = 0$$

برای حل معادله باید $T_{WB}$ حدس زده شود $P_{gw}$ از جدول خوانده شود و معادله کنترل شود این آزمون و خطا تا حصول جواب ادامه یابد

| $T_{WB}$ | $P_{gw}$ | مقدار عبارت |
|---|---|---|
| 20 | 2.339 | 2497.1 |
| 25 | 3.169 | 1178.4 |
| 30 | 4.246 | −385.9 |
| 28.77 | | 0 |



11-13

استاد عباسی

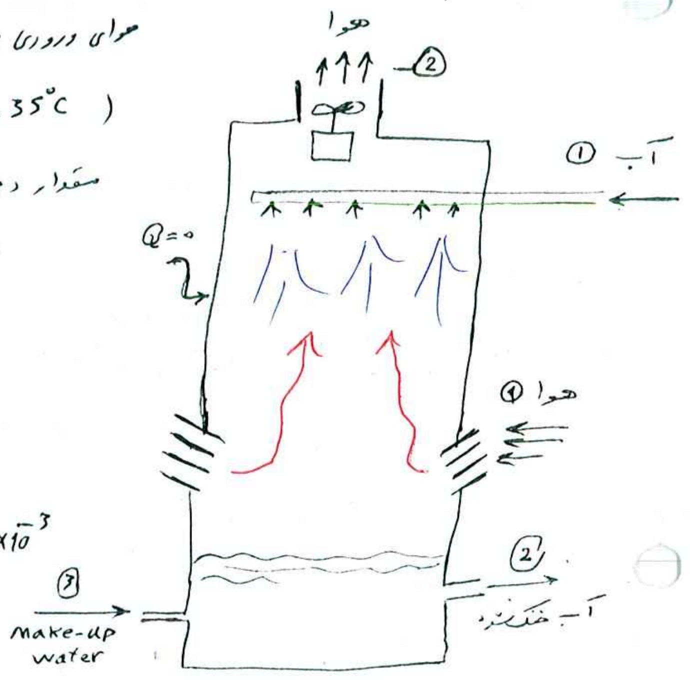
مثال 7.16 هولمن

یک نیروگاه نیاز به خنک کردن آب از 40 درجه تا 30°C با دبی 12000 kg/s دارد

هوای ورودی برج ($T_D = 25°C$ ، $\phi = 35\%$) و می‌توان هوای خروجی را

( 35°C ، $\phi = 90\%$ ) در نظر داشت آب جبرانی 20°C وارد مخزن زیرین می‌شود

مقدار دبی جرمی هوای مورد نیاز و دبی آب جبرانی را بدست آورید




$T_{a_1} = 25°C \quad P_{g_1} = 3.169 \text{ KPa}$

$T_{a_2} = 35°C \quad P_{g_2} = 6.268 \text{ KPa}$

$P_{v_1} = \phi_1 P_{g_1} = 1.109 \text{ KPa}$

$P_{v_2} = \phi_2 P_{g_2} = 4.741 \text{ KPa}$

$$\omega_1 = .622 \frac{P_{v_1}}{P_{a_1}} = \frac{(.622)(1.109)}{101.32 - 1.109} = 6.88 \times 10^{-3}$$

$$\omega_2 = .0305 = \frac{(.622)(4.741)}{101.32 - 4.741}$$

$h_{f_1} = h_{f(40°C)} = 167.57$

$h_{f_2} = h_f(30°C) = 125.79$

$h_{f_3} = 83.96 = h_f(20°C)$

~~$h_{v_1} = h_g(25) = 2574.3$~~

~~$h_{v_2} = h_g(30) =$~~

$h_{v_1} = h_g(25) = 2547.2$

$h_{v_2} = h_g(35) = 2565.3$

$$[\dot{m}_a h_{a_1} + \omega_1 \dot{m}_a h_{v_1}] + \underbrace{\dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1)}_{\dot{m}_{w_1}} h_{f_3} + \dot{m}_{w_1} h_{f_1} = (\dot{m}_a h_{a_2} + \dot{m}_a \omega_2 h_{v_2}) + \dot{m}_{w_2} h_{f_2}$$

$$\dot{m}_a [(h_{a_1} - h_{a_2}) + (\omega_2 - \omega_1) h_{f_3} + \omega_1 h_{v_1} - \omega_2 h_{v_2}] = \dot{m}_{w_1}(h_{f_2} - h_{f_1})$$

$\dot{m}_a = 7287 \text{ Kg/s}$

آب جبرانی $\dot{m}_{w_3} = (\omega_2 - \omega_1)\dot{m}_a = 172.1 \text{ Kg/s}$

- مخزنی با حجم $2\,m^3$ حاوی نیتروژن ($170\,°K$ و $4\,MPa$) می‌باشد مطلوبست الف) جرم داخل مخزن

ب) فشار مخزن اگر دمای $340\,°K$

$$\left|\begin{array}{l} P_1 = 4\,MPa \\ T_1 = 170\,°K \end{array}\right. \longrightarrow \begin{array}{l} P_{r_1} = 1.177 \\ T_{r_1} = 1.347 \end{array} \longrightarrow Z_1 = .85 \rightarrow v_1 = .0107$$

$$\left|\begin{array}{l} P_c = 3.398 \\ T_c = 126.2\,°K \end{array}\right.$$

$$m_1 = V/v_1 = 186.9\ Kg$$

$$\frac{P_2 v_2}{P_1 v_1} = \frac{Z_2 R T_2}{Z_1 R T_1} \Rightarrow P_2 = \frac{P_1}{Z_1}\,\frac{T_2}{T_1}\,Z_2 = 9.41\,Z_2$$

$$\begin{array}{l} P_{r_2} = \frac{P_2}{P_c} = 2.77\,Z_2 \\ T_{r_2} = 2.694 \end{array} \xrightarrow{Z_2 = 1 \text{ فرض}} \begin{array}{l} P_{r_2} = 2.77 \\ T_{r_2} = 2.694 \end{array} \longrightarrow Z_2 = .95 \rightarrow \begin{array}{l} P_{r_2} = 2.63 \\ T_{r_2} = 2.694 \end{array} \longrightarrow Z \cong .95$$

$$P_2 = 9.41\,Z_2 = 8.94\,MPa$$

---

- اتاقی به ابعاد $4 \times 6 \times 3$ حاوی مخلوط بخار آب - هوا در فشار مخلوط $100\,KPa$ و دمای $50°C$ و رطوبت نسبی $\Phi = .81$ می‌باشد مطلوبست: الف) رطوبت مخصوص ب) نقطه شبنم ج) اگر در اتاق یک کویل سرد وجود داشته باشد که هوای اتاق را سرد کند در چه دمائی تقطیر شروع می‌شود

$$\left|\begin{array}{l} T = 50°C \\ \Phi = .81 \end{array}\right. \longrightarrow P_{sat} = 12.349 \qquad \Phi = \frac{P_v}{P_{sat}} \Rightarrow P_v = 10\,KPa$$

$$T_{sat\,(10\,KPa)} = 45.81\,°C$$

$$\left|\begin{array}{l} P_v = 10 \\ T = 50 \end{array}\right. \xrightarrow[\text{سوپرهیت}]{\text{جدول}} v = 14.869$$

$$v_g = v = 14.869 \xrightarrow{\text{جدول اشباع}} T_{sat} = 45.6\,°C$$